

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.246414

IMPLEMENTATION OF REENGINEERING TECHNOLOGY TO ENSURE THE PREDEFINED GEOMETRIC ACCURACY OF A LIGHT AIRCRAFT KEEL (p. 6–12)

Kateryna MaiorovaNational Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”,
Kharkiv, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3949-0791>**Iurii Vorobiov**National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”,
Kharkiv, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6401-7790>**Maksym Boiko**National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”,
Kharkiv, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4982-839X>**Valeriia Suponina**National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”,
Kharkiv, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1324-1850>**Oleh Komisarov**

Motor Sich JSC, Zaporizhzhia, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8429-0521>

The subject of this research is the technology of reengineering and control of parts of aircraft objects (AOs) and technological equipment for their manufacture. The predefined accuracy of the keel of a light aircraft and molding surfaces of technological equipment for its manufacture has been ensured by using reengineering technology and CAD systems. A portrait of the actual physically existing keel of a light aircraft was built in the *.stl file format using the software Artec Studio (USA). The control and comparison of the geometry of the shapes of the analytical standard with the actual physically existing keel of a light aircraft based on its portrait have been implemented. The methods used are the analysis and synthesis of the experimental geometry of shapes, the method of expert evaluations. The following results were obtained: based on the analysis and synthesis, the presence of significant errors in the accuracy of the manufacture of the keel for a light aircraft in the range from -5.26 mm to $+5.39$ mm was detected. It has been shown that the key factor is the keel's relative plane indicator, which is outside the tolerance margin and is 85 %. It was decided to fabricate new technological equipment from another material – organic plastics. Control of the technological equipment made from organic plastics for the keel of a light aircraft showed that the shape-forming surfaces of the equipment have appropriate shapes and sizes corresponding to the existing analytical standard and are devoid of inaccuracies that occurred in the previous version. The range of keel margins that was made using the new technological equipment from organic plastics is from -0.51 mm to $+0.34$ mm while the relative plane of the keel outside the tolerance margin does not exceed 15 %. The study results showed the adequacy of the decisions taken, ensuring the predefined accuracy for the keel of a light aircraft and molding surfaces of technological equipment for its manufacture.

Keywords: reengineering of aircraft objects, analytical standard, accuracy of shapes and sizes, technological equipment.

References

1. Pekarsh, A. I., Feoktistov, D. G., Kolyhalov, V. I., Shport, S. I. (2011). Koordinatno-izmeritel'nye mashiny i komplekсы. Nauka i tekhnologii v promyshlennosti, 3, 36–48.
2. Stojkic, Z., Culjak, E., Saravanja, L. (2020). 3D Measurement - Comparison of CMM and 3D Scanner. Proceedings of the 31st International DAAAM Symposium 2020, 0780–0787. doi: <https://doi.org/10.2507/31st.daaam.proceedings.108>
3. Budzik, G., Kubiak, K., Zaborniak, M., Przeszlowski, Ł., Dziubek, T., Cygan, R. et. al. (2014). Analysis of dimensional accuracy of blade of aircraft engine using a coordinate measuring machine. Journal of KONES. Powertrain and Transport, 21 (2), 33–37. doi: <https://doi.org/10.5604/12314005.1133862>
4. Zhang, D., Luo, M., Wu, B., Zhang, Y. (2021). Intelligent Machining of Complex Aviation Components. Research on Intelligent Manufacturing. doi: <https://doi.org/10.1007/978-981-16-1586-3>
5. Bychkov, I., Maiorova, K., Suponina, V., Riabikov, S. (2020). Reengineering based on 3D-scanning in the process of propeller analytical standard constructing for an ultra-light twin-seat aircraft. АГОС, 31–38. doi: <https://doi.org/10.36074/24.04.2020.v2.09>
6. Tikhonov, A. I., Sazonov, A. A., Novikov, S. V. (2019). Digital Aviation Industry in Russia. Russian Engineering Research, 39 (4), 349–353. doi: <https://doi.org/10.3103/s1068798x19040178>
7. ISO 9001:2015. Quality management systems – Requirements. Available at: <https://www.iso.org/standard/62085.html>
8. Kritskiy, D., Alexander, K., Juliia, P., Koba, S. (2018). Modeling the Characteristics of Complex Projects Using Parallel Computing. 2018 IEEE 13th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT). doi: <https://doi.org/10.1109/stc-csit.2018.8526667>
9. Huda, Z. (2012). Reengineering of manufacturing process design for quality assurance in axle- hubs of a modern car – a case study. International Journal of Automotive Technology, 13 (7), 1113–1118. doi: <https://doi.org/10.1007/s12239-012-0113-5>
10. Asgharizadeh, E., Haghnegahdar, L., Ghorbani, H. (2011). Reengineering Based on Using Artificial Neural Networks in Manufacturing and Production Industries. World Applied Sciences Journal, 14 (10), 1515–1522. Available at: [http://www.idosi.org/wasj/wasj14\(10\)11/11.pdf](http://www.idosi.org/wasj/wasj14(10)11/11.pdf)
11. Anwar, M. Y., Ikramullah, S., Mazhar, F. (2014). Reverse engineering in modeling of aircraft propeller blade - first step to product optimization. IIUM Engineering Journal, 15 (2), 43–57. doi: <https://doi.org/10.31436/iiumej.v15i2.497>
12. Wróbel, K. (2020). Expert Systems in the Reengineering of Technological Equipment. Advances in Intelligent Systems and Computing, 294–301. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-51981-0_37
13. Yurdakul, M., İc, Y. T., Celek, O. E. (2021). Design of the Assembly Systems for Airplane Structures. Design Engineering and Science, 521–541. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-49232-8_18
14. Xu, J., Su, H., Zhang, H. (2021). Research on Design Collaboration of Aircraft Digital Mock up for Suppliers. Journal of Physics: Conference Series, 2006 (1), 012066. doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2006/1/012066>

15. Pohudina, O., Kritskiy, D., Bykov, A. N., Szalay, T. (2020). Method for Identifying and Counting Objects. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 161–172. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-37618-5_15
16. Toche, B., Pellerin, R., Fortin, C., Huet, G. (2012). Set-Based Prototyping with Digital Mock-Up Technologies. *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, 299–309. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-642-35758-9_26
17. Toth, G. (2021). Real Analytic Plane Geometry. *Elements of Mathematics*, 207–261. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-75051-0_5
18. ISO 1101:2004. Geometrical product specifications (GPS) – Geometrical tolerancing – tolerances of form, orientation, location and run-out. Available at: <https://www.iso.org/ru/standard/1147.html>
19. ISO 1101:2017. Geometrical product specifications (GPS) – Geometrical tolerancing – tolerances of form, orientation, location and run-out. Available at: <https://www.iso.org/ru/standard/66777.html>
20. Sikulskiy, V., Kashcheyeva, V., Romanenkov, Y., Shapoval, A. (2017). Study of the process of shape-formation of ribbed double-curvature panels by local deforming. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (1 (88)), 43–49. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.108190>
21. Wang, P., Jin, X., Li, S., Wang, C., Zhao, H. (2019). Digital Modeling of Slope Micro-geomorphology Based on Artec Eva 3D Scanning Technology. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 252, 052116. doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/252/5/052116>
22. Szilvsi-Nagy, M., Mátyási, G. (2003). Analysis of STL files. *Mathematical and Computer Modelling*, 38 (7-9), 945–960. doi: [https://doi.org/10.1016/s0895-7177\(03\)90079-3](https://doi.org/10.1016/s0895-7177(03)90079-3)

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.245360

IMPROVED PERFORMANCE OF CORRUGATED METAL GASKETS IN BOILER'S PIPING SYSTEM THROUGH MULTILAYERED COATING (p. 13–20)

Didik Nurhadiyanto

Universitas Negeri Yogyakarta, Karang Malang, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0643-0776>

Shigeyuki Haruyama

Yamaguchi University, Tokiwadai, Ube, Yamaguchi, Japan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5108-7060>

Mujiyono Mujiyono

Universitas Negeri Yogyakarta, Karang Malang, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9208-8913>

Sutopo Sutopo

Universitas Negeri Yogyakarta, Karang Malang, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1156-8382>

Yunaidi Yunaidi

Politeknik LPP Yogyakarta, Gondokusuman, Yogyakarta, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0520-3355>

Fredy Surahmanto

Universitas Negeri Yogyakarta, Karang Malang, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2148-1152>

Moch Agus Choiron

Brawijaya University, Malang, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4052-4832>

Novian Indra Kusuma

Universitas Negeri Yogyakarta, Karang Malang, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5590-2261>

Nur Chalid Fauzi

Universitas Negeri Yogyakarta, Karang Malang, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3595-4827>

The corrugated metal gasket is still in the early stages of development. However, gasket contact flanges with a high surface roughness (more than 3.5 μm) leak and require a lot of force to tighten. A nickel or copper-coated corrugated metal gasket was designed. A water pressure test was used to measure leaks, and the results revealed that nickel or copper-covered gaskets performed better. The effect of high temperature has not been explored in this study, which only reveals high pressure. The goal of this study is to use copper and nickel coatings to improve the performance of corrugated metal gaskets. Copper or nickel infiltrates the pipe flange's rough surface, preventing leaking. The purpose of this study is to investigate the performance of a coated corrugated metal gasket in a boiler system, which has high temperature and pressure. Corrugated metal gaskets were formed using a cold forming process. The gasket material was SUS304, which is copper or nickel-plated through electroplating. The gasket was installed in a series of pipes in the boiler that flows water at high temperature and pressure. The water leak was trickling on white paper that had been placed beneath the gasket. Even small water leaks are detected on white paper. The thermal camera can detect vapor leaks. The results of the studies reveal that the coated corrugated metal gasket's performance was improved, as seen by the reduction in leakage. At the highest pressure of 7 bar and the lowest tightening force of 40 kN, neither gasket leaked. This result is different from standard corrugated metal gaskets, where at the same pressure and temperature, steam and water leaks are observed. Both copper and nickel-plating types can be used to coat corrugated metal gaskets made of SUS304.

Keywords: coating, nickel, copper, corrugated metal gaskets, performance, leakage, multilayered, boiler.

References

1. Saeed, H. A., Izumi, S., Sakai, S., Haruyama, S., Nagawa, M., Noda, H. (2008). Development of New Metallic Gasket and its Optimum Design for Leakage Performance. *Journal of Solid Mechanics and Materials Engineering*, 2 (1), 105–114. doi: <https://doi.org/10.1299/jmmp.2.105>
2. Nurhadiyanto, D., Choiron, M. A., Haruyama, S., Kaminishi, K. (2012). Optimization of new 25A-size metal gasket design based on contact width considering forming and contact stress effect. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 6 (3), 659–663. Available at: https://www.researchgate.net/publication/288864130_Optimization_of_New_25A-size_Metal_Gasket_Design_Based_on_Contact_Width_Considering_Forming_and_Contact_Stress_Effect
3. Haruyama, S., Nurhadiyanto, D., Choiron, M. A., Kaminishi, K. (2013). Influence of surface roughness on leakage of new metal gasket. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 111–112, 146–154. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpvp.2013.06.004>
4. Nurhadiyanto, D., Haruyama, S., Mujiyono, Sutopo, Ristadi, F. A. (2020). The performance of nickel and copper as coating materials for corrugated metal gaskets. *Journal of Engineering Science and Technology*, 15 (4), 2450–2463. Available at: https://jestec.taylors.edu.my/Vol%2015%20issue%204%20August%202020/15_4_23.pdf

5. Haruyama, S., Choiron, M. A., Nurhadiyanto, D. (2019). Optimum Design of Laminated Corrugated Metal Gasket Using Computer Simulation. *International Journal of Integrated Engineering*, 11 (5). doi: <https://doi.org/10.30880/ijie.2019.11.05.004>
6. Haruyama, S., Karohika, I. M. G., Sato, A., Nurhadiyanto, D., Kaminishi, K. (2016). Development of 25A-size three-layer metal gasket by using FEM simulation. *International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering*, 10 (3), 577–583. Available at: <http://staffnew.uny.ac.id/upload/132161221/penelitian/Development-of-25A-Size-Three-Layer-Metal-Gasket-by-Using-FEM-Simulation.pdf>
7. Karohika, I. G. M., Haruyama, S., Kaminishi, K., Oktavianty, O., Nurhadiyanto, D. (2017). Analysis of contact width and contact stress of three-layer corrugated metal gasket. *International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering*, 11 (4), 870–879. Available at: http://staffnew.uny.ac.id/upload/132161221/penelitian/Analysis%20of%20Contact%20Width%20and%20Contact%20Stress%20of%20Three%20Layer%20Corrugated%20Metal%20Gasket_2017.pdf
8. Nurhadiyanto, D., Mujiyono, Sutopo, Amri Ristadi, F. (2018). Simulation Analysis of 25A-Size Corrugated Metal Gasket Coated Copper to Increase Its Performance. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 307, 012005. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/307/1/012005>
9. Huang, C. A., Yang, S. W., Liu, Y. W., Lai, P. L. (2019). Effect of Cu and Ni Undercoatings on the Electrochemical Corrosion Behaviour of Cr–C-Coated Steel Samples in 0.1 M H₂SO₄ Solution with 1 g/L NaCl. *Coatings*, 9 (9), 531. doi: <https://doi.org/10.3390/coatings9090531>
10. Zhou, H., Hu, X., Li, J. (2018). Corrosion behaviors and mechanism of electroless Ni-Cu-P/n-TiN composite coating. *Journal of Central South University*, 25 (6), 1350–1357. doi: <https://doi.org/10.1007/s11771-018-3831-7>
11. Yulianto Margen, S., Sulisty, S., Nugroho, S., Setiawan Adi Nugroho, Y. (2018). Enhancement Surface Coating Stainless Steel And Copper Using Ultrasonic Batch. *MATEC Web of Conferences*, 159, 02051. doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201815902051>
12. *Materials Data Book* (2003). Cambridge University Engineering Department Available at: <https://pdf4pro.com/view/materials-data-book-university-of-cambridge-5366e6.html>
13. Cambridge Engineering Selector software (CES 4.1) (2003). Granta Design Limited. Rustat.
14. JIS B 2404. Dimensions of gaskets for use with pipe flanges (2006). Japanese Standards Association.
15. JIS B 2220. Steel Pipe Flanges (2004). Japanese Standards Association.
16. Gatea, S., Lu, B., Chen, J., Ou, H., McCartney, G. (2018). Investigation of the effect of forming parameters in incremental sheet forming using a micromechanics based damage model. *International Journal of Material Forming*, 12 (4), 553–574. doi: <https://doi.org/10.1007/s12289-018-1434-3>
17. Xu, L.-Z., Shen, W., Yan, R. (2019). Predictive and control models of the spring-back in thick hull plate forming. *International Journal of Material Forming*, 12 (4), 603–614. doi: <https://doi.org/10.1007/s12289-018-1437-0>
18. Nurhadiyanto, D., Haruyama, S., Anon, M., Abbas, W. (2020). Electroplating process for copper coating of corrugated metal gaskets to increase performance. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET)*, 11 (1), 73–83. doi: <https://doi.org/10.34218/ijmet.11.1.2020.008>
19. Nurhadiyanto, D., Mujiyono, Abbas, W., Sutopo, Haruyama, S. (2021). SUS304 Material Coating with Nickel Through Electroplating. *Advances in Mechanical Processing and Design*, 515–522. doi: https://doi.org/10.1007/978-981-15-7779-6_46
20. Nurhadiyanto, D., Amrullah, A. M., Mujiyono, Kurniawati, J. (2020). An Analysis on copper corrosion SUS304 corrugated metal gasket electroplating. *Journal of Physics: Conference Series*, 1700 (1), 012008. doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1700/1/012008>
21. User's manual FLIR Ex series. No. T559828. FLIR. Available at: <https://docs.rs-online.com/9649/A700000006759356.pdf>
22. Puust, R., Kapelan, Z., Savic, D. A., Koppel, T. (2010). A review of methods for leakage management in pipe networks. *Urban Water Journal*, 7 (1), 25–45. doi: <https://doi.org/10.1080/15730621003610878>
23. Penteado, C., Olivatti, Y., Lopes, G., Rodrigues, P., Filev, R., Aquino, P. T. (2018). Water leaks detection based on thermal images. 2018 IEEE International Smart Cities Conference (ISC2). doi: <https://doi.org/10.1109/isc.2.2018.8656938>
24. Etminanfar, M. R., Heydarzadeh Sohi, M. (2012). Hardness study of the pulse electrodeposited nanoscale multilayers of Cr-Ni. *International Journal of Modern Physics: Conference Series*, 05, 679–686. doi: <https://doi.org/10.1142/s2010194512002620>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.248972

ESTABLISHMENT OF THE DEPENDENCE OF THE STRENGTH INDICATOR OF THE COMPOSITE MATERIAL OF PRESSURE HOSES ON THE CHARACTER OF SINGLE DAMAGES (p. 21–27)

Sergii Nazarenko

National University of Civil Defence of Ukraine,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0891-0335>

Galina Kushnareva

Military Academy, Odessa, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2631-2435>

Natalia Maslich

Military Academy, Odessa, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5792-910X>

Ludmila Knaub

Military Academy, Odessa, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0969-4702>

Nataliia Naumenko

State Higher Education Institution «Ukrainian State University of
Chemical Technology», Dnipro, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0585-932X>

Roman Kovalenko

National University of Civil Defence of Ukraine,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2083-7601>

Valery Konkin

National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5623-4576>

Elena Sukharkova

National University of Civil Defence of Ukraine,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1033-4728>

Oleksandr Koliyev

National University of Civil Defence of Ukraine,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3736-9165>

Experimental studies are presented and the dependence of the change in the strength of the material of a pressure head fire hose of type T with an inner diameter of 77 mm in the longitudinal direction is established, taking into account single damages. The work describes the plan of the experiment and carried out a number of field experiments to determine the effect of the length l_d and the depth K damage on the strength F of the hose material, that is, obtaining the dependence $F=f(l_d, K)$. A mathematical method of experiment planning was used and a plan was drawn up for a complete multivariate experiment of type 2^k with an acceptable model accuracy of 5 %. The limits of variation of the factors are set taking into account a priori information, experimental capabilities and on the basis of the results of preliminary search experiments. The dependence in the coded and natural values of the factors is obtained. The reliability of the relationship was checked using the Fisher test, the calculated value of which was 5.98, which confirms the adequacy of the described process with a probability of 95 %.

Analyzing experimental studies of the dependence of the change in the strength of the hose material on the length and depth of damage, it can be said that the change in the strength of the hose almost linearly depends on the specified damage parameters. It is found that with increasing damage, the strength of the hose material significantly decreases. When varying the length factor and the greatest depth of damage, $K=0.4$ mm, the strength of the hose material decreases from 11.67 kN to 8.77 kN, and in percentage terms by 25 %.

The results obtained can be used in practical units of emergency rescue teams, when diagnosing hidden damage in pressure head fire hoses in order to prevent their failure in case of fires.

Keywords: pressure head fire hose, material strength, experimental studies, experimental design, damage variation limits.

References

1. Tiutiunyk, V. V., Ivanets, H. V., Tolkunov, I. A., Stetsyuk, E. I. (2018). System approach for readiness assessment units of civil defense to actions at emergency situations. *Scientific Bulletin of National Mining University*, 1, 99–105. doi: <http://doi.org/10.29202/nvngu/2018-1/7>
2. Larin, O. O. (2015). Probabilistic Model of Fatigue Damage Accumulation in Rubberlike Materials. *Strength of Materials*, 47 (6), 849–858. doi: <http://doi.org/10.1007/s11223-015-9722-3>
3. Larin, A. A., Vyazovichenko, Y. A., Barkanov, E., Itskov, M. (2018). Experimental Investigation of Viscoelastic Characteristics of Rubber-Cord Composites Considering the Process of Their Self-Heating. *Strength of Materials*, 50 (6), 841–851. doi: <http://doi.org/10.1007/s11223-019-00030-7>
4. Cho, J. ., Yoon, Y. H., Seo, C. W., Kim, Y. G. (2015). Fatigue life assessment of fabric braided composite rubber hose in complicated large deformation cyclic motion. *Finite Elements in Analysis and Design*, 100, 65–76. doi: <http://doi.org/10.1016/j.finel.2015.03.002>
5. Cho, J.-R., Yoon, Y.-H. (2016). Large deformation analysis of anisotropic rubber hose along cyclic path by homogenization and path interpolation methods. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 30 (2), 789–795. doi: <http://doi.org/10.1007/s12206-016-0134-5>
6. Traxl, R., Mungenast, D., Schennach, O., Lackner, R. (2019). Mechanical performance of textile-reinforced hoses assessed by a truss-based unit cell model. *International Journal of Engineering Science*, 141, 47–66. doi: <http://doi.org/10.1016/j.ijengsci.2019.05.006>
7. Fedorko, G., Molnar, V., Dovica, M., Toth, T., Fabianova, J. (2015). Failure analysis of irreversible changes in the construction of the damaged rubber hoses. *Engineering Failure Analysis*, 58, 31–43. doi: <http://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2015.08.042>
8. Yoo, D.-H., Jang, B.-S., Yim, K.-H. (2017). Nonlinear finite element analysis of failure modes and ultimate strength of flexible pipes. *Marine Structures*, 54, 50–72. doi: <http://doi.org/10.1016/j.marstruc.2017.03.007>
9. Potopalska, K., Tyshkovets, O., Kalinovskyi, A., Vasylyev, S. (2021). An Experimental Study on Elastic and Strength Properties of Additively-Manufactured Plastic Materials. *Materials Science Forum*, 1038, 162–167. doi: <http://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.1038.162>
10. Arunachala, P. K., Rastak, R., Linder, C. (2021). Energy based fracture initiation criterion for strain-crystallizing rubber-like materials with pre-existing cracks. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 157. doi: <http://doi.org/10.1016/j.jmps.2021.104617>
11. Schieppati, J., Schrittester, B., Wondracek, A., Robin, S., Holzner, A., Pinter, G. (2021). Effect of mechanical loading history on fatigue crack growth of non-crystallizing rubber. *Engineering Fracture Mechanics*, 257. doi: <http://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2021.108010>
12. Larin, O., Morozov, O., Nazarenko, S., Chernobay, G., Kalynovskyi, A., Kovalenko, R. et. al. (2019). Determining mechanical properties of a pressure fire hose the type of «T». *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (7 (102)), 63–70. doi: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.184645>
13. Nazarenko, S., Kovalenko, R., Gavryliuk, A., Vinogradov, S., Kryvoshei, B., Pavlenko, S. et. al. (2021). Determining the dissipative properties of a flexible pipeline's material at stretching in the transverse direction taking its structural elements into consideration. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (1 (110)), 12–20. doi: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.227039>
14. Nazarenko, S., Kovalenko, R., Asotskyi, V., Chernobay, G., Kalynovskyi, A., Tsebriuk, I. et. al. (2020). Determining mechanical properties at the shear of the material of “T” type pressure fire hose based on torsion tests. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (7 (107)), 45–55. doi: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.212269>
15. Rogov, V. A., Pozniak, G. G. (2005). *Metodika i praktika tekhnicheskikh eksperimentov*. Moscow: ITS Akademiia, 288.
16. Box, G. E. P., Wilson, K. B. (1951). On the Experimental Attainment of Optimum Conditions. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*, 13 (1), 1–38. doi: <http://doi.org/10.1111/j.2517-6161.1951.tb00067.x>
17. Edition, C. E., Jeff, Wu, Michael, S. Hamada J., Wiley S. (2011). *Experiments: Planning, Analysis, and Optimization*. Wiley, 760.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.244903

DESIGN OF A ROLL CRUSHER FOR SUNFLOWER STEMS AND SUBSTANTIATION OF THE RATIONAL MODES OF ITS OPERATION (p. 28–37)

Viktor Sheichenko

Poltava State Agrarian University, Poltava, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2751-6181>

Volodymyr Volskyi

National Scientific Center «Institute of Agricultural Engineering and Electrification», Hlevakha vill., Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7639-4216>

Rostyslav Kotsiubanskyi

National Scientific Center «Institute of Agricultural Engineering and Electrification», Hlevakha vill., Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4114-3951>

Viktor Dnes

National Scientific Center «Institute of Agricultural Engineering and Electrification», Hlevakha vill., Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4166-2276>

Misha Shevchuk

Uman National University of Horticulture, Uman, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0123-0348>

Oleksandra Bilovod

Poltava State Agrarian University, Poltava, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3470-0091>

Olga Drozhchana

Poltava State Agrarian University, Poltava, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8214-2624>

This paper reports a study of the technological process of grinding plant residues of sunflower and the causal relationships of factors that form the system of quality indicators. The necessary prerequisites for determining rational modes and parameters of the roll crusher have been devised.

A prototype of the roll crusher was designed and fabricated, in which the cutting knives are arranged along the entire width of the grip in a staggered manner, with the possibility to change the angle of inclination to the axis of drum rotation in the range of 5...20°.

It was established that in the case of the right-side arrangement of the cutting edge of knives, the highest total level of the percentage of crushed stems in the range of 101–150 mm with an additional load weighing 800 kg exceeded by 1.58 times the corresponding indicators of the roll with an additional load of 600 kg. The largest overall value of the percentage of crushed stems in the range of 0–200 mm when additionally loading the roll with 800 kg was 1.13 times higher than the corresponding indicators of the roll with an additional load of 600 kg.

In the range of 0–200 mm, with an additional load on the roll of 600 kg, at the left-side arrangement of the cutting edge of the knives of the roll, higher total percentage of crushed stems was observed compared to the right-side arrangement. At a speed of 7.45 km/h, 13.6 km/h, the cumulative value of the percentage of crushed stems exceeded the corresponding indicators at the right-side arrangement of knives by 1.09 times, at the speed of 18.6 km/h – by 1.04 times, at the speed of 22 km/h – by 1.04 times, respectively.

It has been noted that at the left-side arrangement of the cutting edge of the knives of the roll, the percentage of crushed stems in the range of 51–100 mm, with an additional load of 600 kg, exceeded the corresponding indicators with an additional load of 800 kg. At the speed of 10.08 km/h, it was exceeded by 1.9 times; at the speed of 13.6 km/h – by 1.44 times; at the speed of 18.6 km/h – by 1.96 times; at the speed of 22 km/h – by 1.99 times, respectively.

Keywords: crushing of sunflower stems, plant residues, processing of plant residues, tillage, roll crusher, grinding quality indicators.

References

1. Bezuhlyi, M. D., Bulhakov, V. M., Hrynyk, I. V. (2010). Naukovo-praktychni pidkhody do vykorystannia solomy ta roslynnykh resh-

tok. *Visnyk ahrarnoi nauky*, 3, 5–8. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vaan_2010_3_3

2. Ivaschenko, O., Ivaschenko, O., Najd'onov, V. (2016). Natural biological systems – the key to success of modern farming agriculture. *Visnyk Agrarnoi Nauky*, 94 (7), 5–11. doi: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201607-01>
3. Linnik, M., Volsky, V., Kotsiubynsky, R. (2019). Systematic approach to the substantiation of the technological scheme and structure of a combined machine for cultivating corn stubble. *Ukrainian Black Sea Region Agrarian Science*, 4 (104), 99–105. doi: [https://doi.org/10.31521/2313-092x/2019-4\(104\)-11](https://doi.org/10.31521/2313-092x/2019-4(104)-11)
4. Trubilin, E. I., Sokht, K. A., Konovalov, V. I. (2013). Working bodies of disc harrows and plow harrow. *Nauchnyy zhurnal KubGAU*, 91 (07). Available at: <http://ej.kubagro.ru/2013/07/pdf/95.pdf>
5. Prisyazhnaya, S. P., Prisyazhnyy, M. M., Prisyazhnaya, I. M. (2009). Sovershenstvovanie processa izmel'cheniya i rassevaniya soevoy solomy dlya povysheniya plodorodiya pochvy. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 10 (60), 95–100. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovershenstvovanie-protsesta-izmelcheniya-i-rassevaniya-soevoy-solomy-dlya-povysheniya-plodorodiya-pochvy>
6. Salo, V. M., Bohatyrov, D. V., Leshchenko, S. M., Savytskyi, M. I. (2014). Vitchyzniane tekhnichne zabezpechennia suchasnykh protsesiv u roslynnytstvi. *Tekhnika i tekhnolohii APK*, 10 (61), 16–19. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Titapk_2014_10_6
7. Ashford, D. L., Reeves, D. W. (2003). Use of a mechanical roller-crimper as an alternative kill method for cover crops. *American Journal of Alternative Agriculture*, 18 (1), 37–45. doi: <https://doi.org/10.1079/ajaa2003037>
8. Kornecki, T. S., Price, A. J., Raper, R. L. (2006). Performance of different roller designs in terminating rye cover crop and reducing vibration. *Applied Engineering in Agriculture*, 22 (5), 633–641. doi: <https://doi.org/10.13031/2013.21994>
9. Bulgakov, V., Aboltins, A., Beloev, H., Nadykto, V., Kyurchev, V., Adamchuk, V., Kaminskiy, V. (2021). Experimental Investigation of Plow-Chopping Unit. *Agriculture*, 11 (1), 30. doi: <https://doi.org/10.3390/agriculture11010030>
10. Ruili, W., Peng, Y., Jahun, R. F., Sen, D. (2017). Design and experiment of combine machine for deep furrowing, stubble chopping, returning and burying of chopped straw. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 33 (5), 40–47. Available at: <https://www.ingentaconnect.com/content/tcsae/tcsae/2017/00000033/00000005/art00006>
11. Li, Y., Song, J., Kang, X., Dong, X., Jiang, H., Peng, W. (2013). Experiment on twin-roller cultivator for straw returning. *Nongye Jixie Xuebao/Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 44 (6), 45–49. Available at: http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTOTAL-NYJX201306010.htm
12. Wu, S. H., Gao, J. (2011). Study on the Technics Principle for Stalk and Stubble Chopper Based on No-Tillage Planter. *Advanced Materials Research*, 230-232, 1039–1044. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.230-232.1039>
13. Behera, A., Raheman, H., Thomas, E. V. (2021). A comparative study on tillage performance of rota-cultivator (a passive – active combination tillage implement) with rotavator (an active tillage implement). *Soil and Tillage Research*, 207, 104861. doi: <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104861>
14. Gürsoy, S., Kolay, B., Avşar, Ö., Sessiz, A. (2016). Evaluation of wheat stubble management practices in terms of the fuel consumption and field capacity. *Research in Agricultural Engineering*, 61 (3), 116–121. doi: <https://doi.org/10.17221/77/2013-rae>

15. Himmelblau, D. (1973). *Analiz processov statisticheskimi metodami*. Moscow: Mir, 957.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.246397

DESIGN OF AN UNIVERSAL SOURCE FOR SEMI-AUTOMATIC AC WELDING AND INDUCTION HEATING (p. 38–46)

Vladimir Burlaka

Pryazovskyi State Technical University, Mariupol, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8507-4070>

Elena Lavrova

Pryazovskyi State Technical University, Mariupol, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6030-0986>

Svetlana Podnebennaya

Pryazovskyi State Technical University, Mariupol, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0878-1492>

Vitaliy Ivanov

Pryazovskyi State Technical University, Mariupol, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3339-7633>

Burikov Serhii

LLC “GSKBV named after BUBNOV”, Mariupol, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6934-6761>

This paper proposes a circuit solution and a power source control algorithm for semi-automatic AC welding with improved energy and weight-size characteristics. A distinctive feature of the designed source is the absence of an input rectifier: welding is carried out with a high-frequency alternating current. That has made it possible to significantly reduce power losses in the source, as well as provide the possibility of implementing induction heating by connecting an inductor to the source output.

Another distinctive feature of the designed source is an increased power factor and a reduced level of higher harmonics of the current consumed. The power factor of the described source reaches 0.94 against 0.5–0.7 for sources equipped with a conventional rectifier with capacitive smoothing.

The designed source's composition includes a power supply system for the wire feed drive with speed stabilization due to positive feedback on the motor current. That has made it possible to ensure the stable operation of the drive in a wide range of speeds. A model has also been developed of a flux wire welding torch containing a feed drive and a coil with a wire (up to 100 mm in diameter), placed, in order to reduce the size, in the handle of the torch.

In addition to the welding function, the source makes it possible to solve the tasks related to induction heating and/or hardening of small parts; to that end, a compact inductor is connected to its output.

Tests of the source showed the feasibility of the proposed ideas and circuit solutions. The dimensions of the source are 190×107×65 mm; weight, 1.4 kg; output current, up to 120 A. The proposed technical solution enables the construction of small-sized, lightweight, universal, easy-to-use power supplies for semi-automatic welding with the option of induction heating.

Keywords: semi-automatic welding, power source, induction heating, electric power quality, power factor, FCAW welding.

References

1. Hamzeh, R., Thomas, L., Polzer, J., Xu, X. W., Heinzl, H. (2020). A Sensor Based Monitoring System for Real-Time Qual-

ity Control: Semi-Automatic Arc Welding Case Study. *Procedia Manufacturing*, 51, 201–206. doi: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.10.029>

2. Potap'evskiy, A. G., Saraev, Yu. N., Chinahov, D. A. (2012). Svarka staley v zaschitnyh gazah plavyaschimysya elektrodom. *Tekhnika i tekhnologiya buduschego*. Tomsk: izd-vo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta, 208.
3. Singh, R. (2012). *Applied welding engineering: processes, codes, and standards*. Butterworth-Heinemann. doi: <https://doi.org/10.1016/C2011-0-00112-6>
4. Mustafa, F. F., Rao, M. I. (2016). Automatic Welding Machine For Pipeline Using MIG Welding Process. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 03 (12), 1448–1454. Available at: <http://docplayer.net/32498681-Automatic-welding-machine-for-pipeline-using-mig-welding-process.html>
5. Burlaka, V., Lavrova, E., Podnebennaya, S., Zakharova, I. (2017). Development of single-phase high-power factor inverter welding sources. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (1 (88)), 18–24. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.106957>
6. Svarochniy poluavtomaticheskii apparat Tesla Weld FCAW 240. Available at: <https://teslaweld.com/svarochnyy-poluavtomaticheskii-apparat-tesla-weld-fcaw-240>
7. Zvariuvalniyi napivavtomat EDON SmartMIG-275 (2 в 1 MIG MMA). Available at: https://edon-redbo.com.ua/catalog/svarochnyy-poluavtomat_edon_smartmig_275_2_v_1_mig_mma.html
8. Svarochniy poluavtomat Kaiser ARC-FLUX 120 (85190). Available at: <https://kulibin.com.ua/catalog/svarochnyye-poluavtomaty/kaiser-85190/>
9. Yang, H., Kerui, C., Yang, L., Bao, Q. (2018). FCAW vertical welding of “V” butt plate in AC UHV transmission line construction. *MATEC Web of Conferences*, 175, 03001. doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201817503001>
10. Lebedjev, V., Khalimovskyy, O. (2019). Electric drives in the equipment for mechanized and automatic arc welding. *Scientific Journal of the Ternopil National Technical University*, 93 (1), 81–91. doi: https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2019.01.081
11. Product Information Chart. Readywelder. Available at: <http://readywelder.com.au/readywelders/?pid=welders>
12. Ivanov, V., Lavrova, E., Burlaka, V., Duhanets, V. (2019). Calculation of the penetration zone geometric parameters at surfacing with a strip electrode. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (5 (102)), 57–62. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.187718>
13. Ivanov, V. P., Lavrova, E. V., Il'yaschenko, D. P., Verkhoturova, E. V. (2020). Modelling of fusion zone formation in shielded metal arc welding. *Structural integrity and life*, 20 (3), 281–284. Available at: <http://divk.inovacionicentar.rs/ivk/ivk20/281-IVK3-2020-VPI-EVL-DPI-EVV.pdf>
14. BS EN 61000-3-12:2011. Electromagnetic compatibility (EMC). Limits. Limits for harmonic currents produced by equipment connected to public low-voltage systems with input current > 16 A and ≤ 75 A per phase. doi: <https://doi.org/10.3403/30183042>
15. IEC 61000-6-4:2018. Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 6-4: Generic standards - Emission standard for industrial environments. Available at: <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iec/32d913f3-8f13-4f51-b595-eb50eb817af9/iec-61000-6-4-2018>
16. DSTU EN 50160:2014. Voltage characteristics of electricity supplied by public electricity networks (EN 50160:2010, IDT) (2014). Kyiv, 32. Available at: <https://www.en.lg.ua/images/stories/2019/standart-yakosti.pdf>

17. Podnebennaya, S. K., Burlaka, V. V., Gulakov, S. V. (2013). A power parallel active filter with higher efficiency. *Russian Electrical Engineering*, 84 (6), 308–313. doi: <https://doi.org/10.3103/s1068371213060072>
18. Sundaram, M., Vaideeswaran, V. (2018). Active Power Factor Correction for Welding Power Source. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 7 (01), 364–367. Available at: <https://www.ijert.org/research/active-power-factor-correction-for-welding-power-source-IJERTV7IS010161.pdf>
19. Power factor correction: a guide for the plant engineer. Technical Data SA02607001E (2014). EATON. Available at: <https://www.eaton.com/ecm/groups/public/%40pub/%40electrical/documents/content/sa02607001e.pdf>
20. Inverter Power Consumption: Energy Savings (2006). The Lincoln Electric Company. Document No. NX-3.30. Available at: <https://www.lincolnelectric.com/assets/US/EN/literature/NX330.pdf>
21. Podnebenna, S. K., Burlaka, V. V., Gulakov, S. V. (2017). Three-Phase Power Supply For Resistance Welding Machine With Corrected Power Factor. *Naukovij Visnik NGU*, 4, 67–72. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvngu_2017_4_12
22. Haque, A. (2016). Valley-Fill Circuit for Power Quality Improvement. *International Journal for Innovative Research in Science & Technology*, 2 (09), 223–227.
23. Bouafassa, A., Fernández-Ramírez, L. M., Babes, B. (2020). Power quality improvements of arc welding power supplies by modified bridgeless SEPIC PFC converter. *Journal of Power Electronics*, 20 (6), 1445–1455. doi: <https://doi.org/10.1007/s43236-020-00143-2>
24. Khatua, M., Kumar, A., Pervaiz, S., Chakraborty, S., Afridi, K. (2021). A Single-Stage Isolated AC–DC Converter Based on the Impedance Control Network Architecture. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 36 (9), 10366–10382. doi: <https://doi.org/10.1109/tpe.2021.3065296>
25. Ivanov, V., Lavrova, E. V., Kibish, V., Mamontov, I. (2021). Research of the Microstructure of the Deposited Layer during Electric Arc Surfacing with Control Impacts. *Materials Science Forum*, 1038, 85–92. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.1038.85>
26. Ivanov, V., Lavrova, E. V., Morgay, F., Semkiv, O. (2021). Investigation of the Heat-Affected Zone Properties During Cladding of Power Equipment with Austenitic Materials Using Control Mechanical Impacts on the Strip Electrode. *Materials Science Forum*, 1038, 100–107. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.1038.100>
27. Ivanov, V., Lavrova, E. (2018). Development of the Device for Two-Strip Cladding with Controlled Mechanical Transfer. *Journal of Physics: Conference Series*, 1059, 012020. doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1059/1/012020>
28. Bellec, Q., Le Claire, J.-C., Benkhoris, M. F., Coulibaly, P. (2021). A New Robust Digital Non-Linear Control for Power Factor Correction – Arc Welding Applications. *Energies*, 14 (4), 991. doi: <https://doi.org/10.3390/en14040991>
29. Ramakrishnaprabu, G., Gunasekar (2016). A Single-Switch Improved Valley-Fill Passive Current Shaper for Compact Fluorescent Lightings. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 5 (6), 10567–10573. Available at: http://www.ijirset.com/upload/2016/june/192_A%20SINGLE.pdf
30. Burlaka, V., Gulakov, S., Podnebennaya, S., Kudinova, E., Savenko, O. (2020). Bidirectional single stage isolated DC-AC converter. 2020 IEEE KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek). doi: <https://doi.org/10.1109/khpiweek51551.2020.9250107>
31. Leschinskiy, L. K., Samotugin, S. S. (2005). Sloistye naplavlennyye i uprochnennyye kompozitsii. Mariupol', 392. Available at: <http://eir.pstu.edu/bitstream/handle/123456789/5655/%D0%9B%D0%B5%D1%89%D0%B8%D0%BD%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9.%20%D0%A1%D0%B0%D0%BC%D0%BE%D1%82%D1%83%D0%B3%D0%B8%D0%BD.%20%D0%A1%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D1%80%D0%B6%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5.pdf?sequence=1>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.244617

INFLUENCE OF THE SURFACE CHARACTERISTICS OF CORRUGATED CARDBOARD ON THE QUALITY OF INKJET PRINTING (p. 47–55)

Oksana Zorenko

Publishing and Printing Institute of National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2352-2579>

Yaroslav Zorenko

Publishing and Printing Institute of National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5332-5296>

Iryna Kupalkina-Luhova

PJSC «Kyiv Cardboard and Paper Mill», Obukhiv, Kyiv reg., Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3988-5251>

Vasyl Skyba

Publishing and Printing Institute of National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4534-1960>

Rozaliya Khokhlova

Publishing and Printing Institute of National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1545-9696>

This paper investigates the quality of inkjet printing on corrugated cardboard with various characteristics such as the presence of surface coating, the type of cardboard structure, the corrugated layer profile, and the corrugated cardboard height.

The color characteristics of the corrugated board surface of studied samples were analyzed in the CIE Lab system; the value of the discrepancy in the shade of white was established when compared with the reference values of the ISO 12647 standard.

During the study, the main criteria for assessing the quality of color reproduction of inkjet imprints were analyzed: an indicator of the general contrast level (K), the value of color differences for the basic tone shades (ΔE), and the volume of the body color coverage (ΔE^2).

It was found that when printing on various types of corrugated cardboard, there is a general decrease in the overall contrast value. The actual level of color differences is $\Delta E=10...45$ and exceeds the permissible standards for the color reproduction quality. This adversely affects the reproduction of different color tones in the printed image. In general, the quality of color reproduction differs for the test samples of corrugated cardboard in terms of the magnitude of the spread in the values of color distortions on the tone shades.

The influence of the main characteristics of the investigated samples of corrugated cardboard on the quality indicators of

inkjet printing has been analyzed. In particular, a significant influence of the index of color characteristics of the surface of corrugated cardboard L^* and the type of corrugated board structure on the quality of color reproduction has been established.

The study results reported here could make it possible to reasonably approach the selection of the corrugated board structure that is optimal in composition, increase the productivity of the technological process for manufacturing containers, and stabilize the quality of printing on corrugated cardboard.

Keywords: corrugated cardboard, color differences, printing contrast, inkjet printing, quality of the imprint.

References

1. Khadzhyanova, S., Jakucewicz, S. (2016). Bezpośredni zadruk tektury falistej w technologii drukowania natryskowego. *Przegląd Papierniczy*, 72 (09), 554–558.
2. BS ISO 12647-2:2004. Graphic technology. Process control for the production of half-tone colour separations, proof and production prints - Offset lithographic processes. doi: <https://doi.org/10.3403/03181323>
3. Zolotukhina, K., Velychko, O. (2020). Optical characteristics of the imprints. Fourteenth International Conference on Correlation Optics. doi: <https://doi.org/10.1117/12.2551596>
4. Hurska, I. V., Zorenko, O. V., Rozum, T. V. (2018). Technological Features of Printing on Corrugated Cardboard by Flexographic Method. *Technology and Technique of Typography*, 4 (62), 60–70. doi: [https://doi.org/10.20535/2077-7264.4\(62\).2018.173872](https://doi.org/10.20535/2077-7264.4(62).2018.173872)
5. Cigula, T., Tomašegović, T., Hudika, T. (2019). Effect of the paper surface properties on the ink transfer parameters in offset printing. *Nordic Pulp & Paper Research Journal*, 34 (4), 540–549. doi: <https://doi.org/10.1515/npprj-2019-0018>
6. Valdec, D., Miljković, P., Auguštin, B. (2017). The influence of printing substrate properties on color characterization in flexography according to the ISO specifications. *Tehnički glasnik*, 11 (3), 73–77.
7. Živković, P., Obućina, A., Garić, M. (2016). The standardization of offset and flexographic printing process according to ISO standards. *Techno Science*, 1 (1), 16–27. Available at: <http://technoscience.ba/wp-content/uploads/2018/04/THE-STANDARDIZATION-OF-OFFSET-AND-FLEXOGRAPHIC-PRINTING-PROCESS-ACCORDING-TO-ISO-STANDARDS-Predrag-%C5%BDivkovi%C4%87-Aldin-Obu%C4%87ina-Marija-Gari%C4%87.pdf>
8. Kumar, S., Saini, M. (2016). Study of Conventional Offset Printing with Digital Printing. *International Journal of Science, Engineering and Computer Technology*, 6 (2), 110–112.
9. Savchenko, K. I., Zorenko, O. V., Velychko, O. M. (2012). The optical and color imprint's characteristics in modern inkjet color printers are investigated. *Technology and Technique of Typography*, 1 (35), 12–17. doi: [https://doi.org/10.20535/2077-7264.1\(35\).2012.36998](https://doi.org/10.20535/2077-7264.1(35).2012.36998)
10. Zolotukhina, K., Khadzhyanova, S., Velychko, O., Kushlyk, B., Kushlyk-Dyvulska, O. (2019). Researching the interaction of different printed materials types with liquids. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (1 (99)), 26–34. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.165856>
11. Khadzhyanova, S., Havenko, S. (2020). Devising a procedure for examining the quality of prints of digital and offset printing on corrugated cardboard. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (1 (107)), 81–89. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.212075>
12. Havenko, S. F., Bernatsek, V. V., Ryvak, P. M., Labetska, M. T. (2018). Investigation of Quality of Packaging Made of Laminated Micro-Corrugated Cardboard. *Technology and Technique of Typography*, 4 (62), 18–26. doi: [https://doi.org/10.20535/2077-7264.4\(62\).2018.157773](https://doi.org/10.20535/2077-7264.4(62).2018.157773)
13. Rosalen, S., Backhaus, J. (2019). Mottle evaluation of coated cardboards printed in inkjet. *NIP & Digital Fabrication Conference*, 2019 (1), 65–68. doi: <https://doi.org/10.2352/issn.2169-4451.2019.35.65>
14. Jurič, I., Randjelovic, D., Karlovits, I., Tomić, I. (2014). Influence of the surface roughness of coated and uncoated papers on the digital print mottle. *Journal of Graphic Engineering and Design*, 5 (1), 17–23.
15. Ha, Y.-B., Park, J.-Y., Kim, H.-J. (2019). Influence of the Physical Properties of Digital Printing Paper on the Printing Quality. *Journal of Korea Technical Association of the Pulp and Paper Industry*, 51 (2), 108–120. doi: <https://doi.org/10.7584/jktapi.2019.04.51.2.108>
16. Cigula, T., Hudika, T., Donevski, D. (2021). Color reproduction on varnished cardboard packaging by using lower ink coverages due to the gray component replacement image processing. *Color Research & Application*. doi: <https://doi.org/10.1002/col.22704>
17. Wu, J., Liu, L., Jiang, Z. X., Jiang, B., Hu, Z., Jing, J. H., Huang, Y. D. (2014). Design and Fabrication of Inkjet Materials. *Advanced Materials Research*, 926-930, 325–328. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.926-930.325>
18. Corrugated cardboard. Jetmaster Series. Available at: <https://www.jetmasterseries.com/corrugated-cardboard/>
19. British Standards Document. PD ISO/TS 15311-1. Graphic technology. Requirements for printed matter for commercial and industrial production: Measurement methods and reporting schema. BSI British Standards. doi: <https://doi.org/10.3403/30246328u>
20. SpectroEye Product Support. X-Rite. Available at: <https://www.xrite.com/service-support/product-support/portable-spectrophotometers/spectroeye>
21. Kitano, Y., Isogai, A., Enomae, T. (2008). Comparative Studies of Gloss Development in Electrophotography and Offset Printing. *Journal of Imaging Science and Technology*, 52 (1), 010504. doi: [https://doi.org/10.2352/J.ImagingSci.Technol.\(2008\)52:1\(010504\)](https://doi.org/10.2352/J.ImagingSci.Technol.(2008)52:1(010504))
22. Triola, M. F. (2009). *Elementary statistics*. Addison Wesley, 896.
23. Makowski, D., Ben-Shachar, M., Patil, I., Lüdtke, D. (2020). Methods and Algorithms for Correlation Analysis in R. *Journal of Open Source Software*, 5 (51), 2306. doi: <https://doi.org/10.21105/joss.02306>
24. Lapach, S. N., Chubenko, A. V., Babich, P. N. (2002). *Statistika v nauke i biznese*. Kyiv: Morion, 640.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.244241

IMPROVING THE TECHNOLOGY FOR MANUFACTURING HOLLOW CYLINDRICAL PARTS FOR VEHICLES BY REFINING TECHNOLOGICAL ESTIMATION DEPENDENCES (p. 56–64)

Ruslan Puzyr

College of Kremenchuk National University
named after Mikhailo Ostrogradskiy, Kremenchuk, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9791-9002>

Viktor Shchetynin

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University,
Kremenchuk, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0764-0396>

Viktor Vorobyov

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University,
Kremenchuk, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3446-4714>

Alexandr Salenko

National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5685-6225>

Roman Arhat

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University,
Kremenchuk, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9247-5297>

Tetiana Haikova

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University,
Kremenchuk, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6972-3210>

Serhii Yakhin

Poltava State Agrarian University, Poltava, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0042-0844>

Volodymyr Muravlov

Poltava State Agrarian University, Poltava, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3221-0411>

Yuliia Skoriak

Poltava State Agrarian University, Poltava, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9220-1827>

Igor Negrebetskyi

Poltava State Agrarian University, Poltava, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1122-4152>

This paper shows that the technological preparation of production accounts for 20–70 % of the total labor intensity of technical preparation. An important role belongs to the applied programs of finite-element modeling. However, such software packages often cannot be purchased by small-scale industrial enterprises for various reasons. Therefore, special empirical and analytical calculation models are used, which have proved to be quite effective in typical metal processing processes. Drawing a cylindrical hollow part was used as an example of the improved analytical dependence to calculate meridional tensile stresses. Existing analytical models of the process accounted for the bending moment through additional stresses. However, this approach only roughly described the deformation process. It was possible to refine the existing analytical dependences by introducing a term into the differential equilibrium equations that takes into consideration the bending moment that acts in the meridional direction when a workpiece passes the rounding on the matrix edge. Analysis of the obtained expression revealed that the bending of a workpiece gives rise to the stretching meridional stresses, which depend on the ratio of the squares of the thickness of the workpiece and the radius of the matrix rounding. The results of the estimation data from the numerical and theoretical models coincided for small values of the radius of the matrix rounding of 1–2 mm, which confirms the adequacy of the analytical solution. In the numerical model, there is an extreme point where the tensile stresses have a minimum and, after it, begin to increase; this corresponds to the matrix rounding radius of 5 mm.

Keywords: technological process, matrix, drawing, plastic deformation, flat workpiece, rounding radius, meridional stresses.

References

1. Rojek, I. (2016). Technological process planning by the use of neural networks. *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*, 31 (1), 1–15. doi: <https://doi.org/10.1017/s0890060416000147>

2. Dima, I. C., Grabara, J. (2013). The Constructive and Technological Preparation of Production. *Industrial Production Management in Flexible Manufacturing Systems*, 68–109. doi: <https://doi.org/10.4018/978-1-4666-2818-2.ch003>
3. Puzyr, R., Kukhar, V., Maslov, A., Shchipkovsky, Y. (2018). The Development of the Method for the Calculation of the Shaping Force in the Production of the Method for the Calculation of the Shaping Force in the Production of Vehicle Wheel Rims. *International Journal of Engineering & Technology*, 7 (4.3), 30. doi: <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.3.20128>
4. Khrustaleva, I. N., Lyubomudrov, S. A., Romanov, P. I. (2018). Automation of technological preparation of production in single-unit and small-batch manufacturing. *St. Petersburg polytechnic university journal of engineering science and technology*, 24 (01), 113–121. doi: <https://doi.org/10.18721/JEST.240111>
5. Puzyr, R., Klimov, E., Chernish, A., Chernenko, S., Sira, Y. (2021). The Optimal Conditions for Adding Strain to the Deformation Zone During the Expansion of Automobile Pipe Adapters. *Advances in Design, Simulation and Manufacturing IV*, 104–113. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-77719-7_11
6. Tipner, L. M., Ishakova, N. R., Yeltsin, B. N. (2019). Problems of organization in conditions of unit and small batch production. *Journal of Economy and Business*, 5-3, 97–102. doi: <https://doi.org/10.24411/2411-0450-2019-10733>
7. Prasad, N. (2012). Small-Scale Activities and Productivity Divide. *SSRN Electronic Journal*. doi: <https://doi.org/10.2139/ssrn.2323421>
8. Sigmund, O., Maute, K. (2013). Topology optimization approaches: A comparative review. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 48 (6), 1031–1055. doi: <https://doi.org/10.1007/s00158-013-0978-6>
9. Safarov, D. T., Fedorov, K. A., Ilyasova, A. I. (2016). Algorithms development of making special techniques in APQP manufacturing process of automotive components. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 134, 012036. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/134/1/012036>
10. Puzyr, R. H., Shchetynin, V. T., Arhat, R. H., Sira, Y. B., Muravlov, V. V., Kravchenko, S. I. (2021). Numerical modeling of pipe parts of agricultural machinery expansion by stepped punches. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1018, 012013. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1018/1/012013>
11. Puzyr, R., Markov, O., Savielov, D., Chernysh, A., Sira, Y. (2021). Finite-Element Simulation of the Process of the Tubular Workpiece Expansion in the Manufacture of Automotive Parts. *Advanced Manufacturing Processes II*, 433–442. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-68014-5_43
12. Salenko, Y., Puzyr, R., Shevchenko, O., Kulynych, V., Pedun, O. (2020). Numerical Simulation of Local Plastic Deformations of a Cylindrical Workpiece of a Steel Wheel Rim. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, 442–451. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-50794-7_43
13. Haikova, T., Puzyr, R., Dragobetsky, V., Symonova, A., Vakylenko, R. (2020). Finite-Element Model of Bimetal Billet Strain Obtaining Box-Shaped Parts by Means of Drawing. *Advances in Design, Simulation and Manufacturing II*, 85–94. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-22365-6_9
14. Markov, O., Gerasimenko, O., Khvashchynskyi, A., Zhytnikov, R., Puzyr, R. (2019). Modeling the technological process of pipe forging without a mandrel. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (1 (99)), 42–48. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.167077>

15. Popov, E. A. (1977). *Osnovy teorii listovoy shtampovki*. Moscow: Mashinostroenie, 278.
16. Wang, X., Cao, J. (2000). An Analytical Prediction of Flange Wrinkling in Sheet Metal Forming. *Journal of Manufacturing Processes*, 2 (2), 100–107. doi: [https://doi.org/10.1016/s1526-6125\(00\)70017-x](https://doi.org/10.1016/s1526-6125(00)70017-x)
17. Yakovlev, S. S., Remnev, K. S., Kalashnikov, A. E. (2012). Poterya ustoychivosti flanca anizotropnoy zagotovki pri vytyazhke osesimmetrichnyh detaley. *Obrabotka materialov davleniem*, 1 (30), 156–163.
18. Romanovskiy, V. P. (1979). *Spravochnik po holodnoy shtampovke*. Leningrad: Mashinostroenie, 520.
19. Arhat, R., Puzyr, R., Shchetynin, V., Moroz, M. (2021). The Manufacture of Cylindrical Parts by Drawing Using a Telescopic Punch. *Advanced Manufacturing Processes II*, 363–372. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-68014-5_36
20. Zheng, K., Politis, D. J., Wang, L., Lin, J. (2018). A review on forming techniques for manufacturing lightweight complex – shaped aluminium panel components. *International Journal of Lightweight Materials and Manufacture*, 1 (2), 55–80. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijlmm.2018.03.006>
21. Lee, E.-H., Stoughton, T. B., Yoon, J. W. (2017). A yield criterion through coupling of quadratic and non-quadratic functions for anisotropic hardening with non-associated flow rule. *International Journal of Plasticity*, 99, 120–143. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijplas.2017.08.007>
22. Stoughton, T. B. (2002). A non-associated flow rule for sheet metal forming. *International Journal of Plasticity*, 18 (5-6), 687–714. doi: [https://doi.org/10.1016/s0749-6419\(01\)00053-5](https://doi.org/10.1016/s0749-6419(01)00053-5)
23. Liu, X., Fakir, O. E., Meng, L., Sun, X., Li, X., Wang, L. (2018). Effects of lubricant on the IHTC during the hot stamping of AA6082 aluminium alloy: Experimental and modelling studies. *Journal of Materials Processing Technology*, 255, 175–183. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2017.12.013>
24. Hartl, C. (2005). Research and advances in fundamentals and industrial applications of hydroforming. *Journal of Materials Processing Technology*, 167 (2-3), 383–392. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2005.06.035>
25. G.-Romeu, M. L., de Ciurana, Q. (2004). Design and Manufacturing Assistance Tool for Drawing Sheet Metal Parts. *Cooperative Design, Visualization, and Engineering*, 123–132. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-540-30103-5_14
26. Araghi, B. T., Manco, G. L., Bambach, M., Hirt, G. (2009). Investigation into a new hybrid forming process: Incremental sheet forming combined with stretch forming. *CIRP Annals*, 58 (1), 225–228. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2009.03.101>
27. Zein, H., El-Sherbiny, M., Abd-Rabou, M., El Shazly, M. (2013). Effect of Die Design Parameters on Thinning of Sheet Metal in the Deep Drawing Process. *American Journal of Mechanical Engineering*, 1 (2), 20–29. doi: <https://doi.org/10.12691/ajme-1-2-1>
28. Vladimirov, I. N., Pietryga, M. P., Reese, S. (2010). Anisotropic finite elastoplasticity with nonlinear kinematic and isotropic hardening and application to sheet metal forming. *International Journal of Plasticity*, 26 (5), 659–687. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijplas.2009.09.008>
29. Gali, O. A., Riahi, A. R., Alpas, A. T. (2013). The tribological behaviour of AA5083 alloy plastically deformed at warm forming temperatures. *Wear*, 302 (1-2), 1257–1267. doi: <https://doi.org/10.1016/j.wear.2012.12.048>
30. Shi, Z., Wang, L., Mohamed, M., Balint, D. S., Lin, J., Stanton, M. et. al. (2017). A new design of friction test rig and determination of friction coefficient when warm forming an aluminium alloy. *Procedia Engineering*, 207, 2274–2279. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.994>
31. Afshin, E., Kadkhodayan, M. (2015). An experimental investigation into the warm deep-drawing process on laminated sheets under various grain sizes. *Materials & Design*, 87, 25–35. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2015.07.061>
32. Khandeparkar, T., Liewald, M. (2008). Hydromechanical deep drawing of cups with stepped geometries. *Journal of Materials Processing Technology*, 202 (1-3), 246–254. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2007.08.072>
33. Heftrich, C., Steinheimer, R., Engel, B. (2018). Rotary-draw-bending using tools with reduced geometries. *Procedia Manufacturing*, 15, 804–811. doi: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.07.410>
34. Puzyr, R., Haikova, T., Majernik, J., Karkova, M., Kmec, J. (2018). Experimental Study of the Process of Radial Rotation Profiling of Wheel Rims Resulting in Formation and Technological Flattening of the Corrugations. *Manufacturing Technology*, 18 (1), 106–111. doi: <https://doi.org/10.21062/ujep/61.2018/a/1213-2489/mt/18/1/106>
35. Slater, R. (1977). *Engineering and Plasticity: Theory and Application to Metal Forming Processes*. London: Macmillan, 432.
36. Agarwal, R. P., Grace, S. R., O'Regan, D. (2002). Oscillation and Nonoscillation of Linear Ordinary Differential Equations. *Oscillation Theory for Second Order Linear, Half-Linear, Superlinear and Sublinear Dynamic Equations*, 13–92. doi: https://doi.org/10.1007/978-94-017-2515-6_2
37. Il'yushin, A. A. (1948). *Plastichnost'*. Moscow-Leningrad: Gostehizdat, 376.
38. Volmir, A. (1967). *Ustoychivost' deformiruemykh sistem*. Moscow: Nauka, 984.
39. Taber, L. A. (1988). On a theory for large elastic deformation of shells of revolution including torsion and thick-shell effects. *International Journal of Solids and Structures*, 24 (9), 973–985. doi: [https://doi.org/10.1016/0020-7683\(88\)90045-5](https://doi.org/10.1016/0020-7683(88)90045-5)
40. Maslov, A., Batsaikhan, J., Puzyr, R., Salenko, Y. (2018). The Determination of the Parameters of a Vibration Machine of the Internal Compaction of Concrete Mixtures. *International Journal of Engineering & Technology*, 7 (4.3), 12. doi: <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.3.19545>
41. Prager, V. (1955). *Probleme der plastizitätstheorie*. Birkhäuser. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-0348-6928-7>
42. Puzyr, R., Savelov, D., Shchetynin, V., Levchenko, R., Haikova, T., Kravchenko, S. et. al. (2018). Development of a method to determine deformations in the manufacture of a vehicle wheel rim. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (1 (94)), 55–60. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.139534>
43. Haikova, T. V., Puzyr, R. H., Levchenko, R. V. (2020). Experimental Studies on the Stress-Strain State under Drawing Aluminum–Copper Bimetal Parts Rectangular in Plan. *Russian Journal of Non-Ferrous Metals*, 61 (4), 404–412. doi: <https://doi.org/10.3103/s1067821220040033>
44. Arhat, R., Puzyr, R., Shchetynin, V., Puzyr, V., Haikova, T. (2021). The Contact Pressure in Drawing Parts Without Clamping the Workpiece Flange. *Advances in Design, Simulation and Manufacturing IV*, 12–20. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-77719-7_2
45. Neto, D. M., Oliveira, M. C., Alves, J. L., Menezes, L. F. (2014). Influence of the plastic anisotropy modelling in the reverse deep drawing process simulation. *Materials & Design*, 60, 368–379. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2014.04.008>
46. Yoon, J. W., Dick, R. E., Barlat, F. (2011). A new analytical theory for earing generated from anisotropic plasticity. *International Jour-*

- nal of Plasticity, 27 (8), 1165–1184. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijplas.2011.01.002>
47. Sosenushkin, E. N., Yanovskaya, E. A., Sosenushkin, A. E., Emel'yanov, V. V. (2015). Mechanics of nonmonotonic plastic deformation. *Russian Engineering Research*, 35 (12), 902–906. doi: <https://doi.org/10.3103/s1068798x15120199>
 48. Van der Put, M., Singer, M. F. (2003). *Galois Theory of Linear Differential Equations*. Grundlehren Der Mathematischen Wissenschaften. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-55750-7>
 49. Barrett, J. H. (1969). Oscillation theory of ordinary linear differential equations. *Advances in Mathematics*, 3 (4), 415–509. doi: [https://doi.org/10.1016/0001-8708\(69\)90008-5](https://doi.org/10.1016/0001-8708(69)90008-5)
 50. Džurina, J., Baculiková, B., Jadlovská, I. (2015). Kneser solutions of fourth-order trinomial delay differential equations. *Applied Mathematics Letters*, 49, 67–72. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aml.2015.04.015>
 51. Krasnov, M. L., Kiselev, A. I., Makarenko, G. I. (2002). *Obyknoventnye differentsial'nye uravneniya. Zadachi i primery s podrobnymi resheniyami*. Moscow: Editorial URSS, 256.
 52. Puzyr, R., Savelov, D., Argat, R., Chernish, A. (2015). Distribution analysis of stresses across the stretching edge of die body and bending radius of deforming roll during profiling and drawing of cylindrical workpiece. *Metallurgical and Mining Industry*, 1, 27–32.
 53. Kurpe, O., Kukhar, V., Puzyr, R., Burko, V., Balalayeva, E., Klimov, E. (2020). Electric Motors Power Modes at Synchronization of Roughing Rolling Stands of Hot Strip Mill. 2020 IEEE Problems of Automated Electrodrive. Theory and Practice (PAEP). doi: <https://doi.org/10.1109/paep49887.2020.9240818>
 54. Haikova, T., Puzyr, R., Savelov, D., Dragobetsky, V., Argat, R., Sivak, R. (2020). The Research of the Morphology and Mechanical Characteristics of Electric Bimetallic Contacts. 2020 IEEE Problems of Automated Electrodrive. Theory and Practice (PAEP). doi: <https://doi.org/10.1109/paep49887.2020.9240847>
 55. Markov, O. E., Aliiev, I. S., Aliieva, L. I., Hrudkina, N. S. (2020). Computerized and physical modeling of upsetting operation by combined dies. *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*, 55 (3), 640–648.
 56. Hrudkina, N. (2021). Process modeling of sequential radial-direct extrusion using curved triangular kinematic module. *FME Transactions*, 49 (1), 56–63. doi: <https://doi.org/10.5937/fme2101056h>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.248375

ANALYSIS OF THE MAIN FACTORS AFFECTING MASS PRODUCTION IN THE PLASTIC MOLDING PROCESS BY USING THE FINITE ELEMENT METHOD (p. 65–71)

Hani Mizhir Magid

Al-Furat Al-Awsat Technical University, Kofa, Iraq, 54003

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3003-4784>

Badr Kamoon Dabis

Al-Furat Al-Awsat Technical University, Najaf, Kofa, Iraq, 54003

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5402-4778>

Mohammad abed alabas Siba

Middle Technical University, Baghdad, Iraq, 10074

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1071-2349>

Plastic injection molding is widely used in many industrial applications. Plastic products are mostly used as disposable parts or as portable parts for fast replacements in many devices and

machines. However, mass production is always adopted as an ideal method to cover the huge demands and customers' needs. The problems of warpage due to thermal stresses, non-uniform pressure distribution around cavities, shrinkage, sticking and overall products quality are some of the important challenges. The main objective of this work is to analyze the stress distribution around the cavities during the molding and demolding to avoid their effects on the product quality. Moreover, diagnosing the critical pressure points around and overall the cavity projection area, which is subjected to high pressure will help to determine the optimum pressure distribution and ensure filling all cavities at the same time, which is another significant objective. Computer-aided design (CAD) and CATIA V5R20 are adopted for design and modeling procedures. The computer-aided engineering (CAE) commercial software ABAQUS 6141 has been dedicated as finite element simulation packages for the analysis of this process. Simulation results show that stress distribution over the cavities depends on both pressure and temperature gradient over the contact surfaces and can be considered as the main affecting factor. The acceptable ranges of the cavity stresses were determined according to the following values: the cavity and core region temperature of 55–65 °C, filling time of 10–20 s, ejection pressure 0.85 % of injection pressure, and holding time of 10–15 s. Also, theoretical results reveal that the uniform pressure and temperature distribution can be controlled by adjusting the cavities layout, runner, and gate size. Moreover, the simulation process shows that it is possible to facilitate and identify many difficulties during the process and modify the prototype to evaluate the overall manufacturability before further investing in tooling. Furthermore, it is also concluded that tooling iterations will be minimized according to the design of the selected process.

Keywords: mass production, injection, pressure, temperature, finite element, quality.

References

1. Bagalkot, A., Pons, D., Symons, D., Clucas, D. (2019). Categorization of Failures in Polymer Rapid Tools Used for Injection Molding. *Processes*, 7 (1), 17. doi: <https://doi.org/10.3390/pr7010017>
2. Nagahanumaiah, Subburaj, K., Ravi, B. (2008). Computer aided rapid tooling process selection and manufacturability evaluation for injection mold development. *Computers in Industry*, 59 (2-3), 262–276. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2007.06.021>
3. Gries, S., Meyer, G., Wonisch, A., Jakobi, R., Mittelstedt, C. (2021). Towards Enhancing the Potential of Injection Molding Tools through Optimized Close-Contour Cooling and Additive Manufacturing. *Materials*, 14 (12), 3434. doi: <https://doi.org/10.3390/ma14123434>
4. Hartono, M., Pratikto, Santoso, P. B., Sugiono (2020). Optimization on the Injection Molding Propypopylene Parameters Using Central Composite Design for Minimizing Defects. *Journal of Southwest Jiaotong University*, 55 (2). doi: <https://doi.org/10.35741/issn.0258-2724.55.2.42>
5. Kriesi, C., Bjelland, Ø., Steinert, M. (2018). Fast and iterative prototyping for injection molding – a case study of rapidly prototyping. *Procedia Manufacturing*, 21, 205–212. doi: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.02.112>
6. Mansour, S., Hague, R. (2003). Impact of rapid manufacturing on design for manufacture for injection moulding. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 217 (4), 453–461. doi: <https://doi.org/10.1243/095440503321628134>

7. Liang, W., Ge, X., Ge, J., Li, T., Zhao, T., Chen, X. et. al. (2018). Reduced Graphene Oxide Embedded with MQ Silicone Resin Nano-Aggregates for Silicone Rubber Composites with Enhanced Thermal Conductivity and Mechanical Performance. *Polymers*, 10 (11), 1254. doi: <https://doi.org/10.3390/polym10111254>
8. Kazmer, D. O., Speight, R. G. (1997). Polymer Injection molding Technology for the Next Millennium. *Journal of Injection Molding Technology*, 1 (2), 81–90. Available at: https://www.researchgate.net/publication/237673663_Polymer_Injection_Molding_Technology_for_the_Next_Millennium
9. Abdulhameed, O., Al-Ahmari, A., Ameen, W., Mian, S. H. (2019). Additive manufacturing: Challenges, trends, and applications. *Advances in Mechanical Engineering*, 11 (2), 1687814018822880. doi: <https://doi.org/10.1177/1687814018822880>
10. Vieten, T., Stahl, D., Schilling, P., Civelek, F., Zimmermann, A. (2021). Feasibility Study of Soft Tooling Inserts for Injection Molding with Integrated Automated Slides. *Micromachines*, 12 (7), 730. doi: <https://doi.org/10.3390/mi12070730>
11. Hussin, R., Sharif, S., Nabialek, M., Zamree Abd Rahim, S., Khushairi, M. T. M., Suhaimi, M. A. et. al. (2021). Hybrid Mold: Comparative Study of Rapid and Hard Tooling for Injection Molding Application Using Metal Epoxy Composite (MEC). *Materials*, 14 (3), 665. doi: <https://doi.org/10.3390/ma14030665>
12. Kim, H.-S., Lee, W.-G., Lee, C.-H., Lee, K. D. (2020). Optimization for the prepreg compression molding of notebook computer cover using design of experiment and finite element method. *SN Applied Sciences*, 2 (9). doi: <https://doi.org/10.1007/s42452-020-03416-4>
13. Zhou, H. (Ed.) (2013). *Computer modeling for injection molding. Simulation, Optimization, and Control*. John Wiley & Sons, Inc.
14. Loaldi, D., Regi, F., Baruffi, F., Calaon, M., Quagliotti, D., Zhang, Y., Tosello, G. (2020). Experimental Validation of Injection Molding Simulations of 3D Microparts and Microstructured Components Using Virtual Design of Experiments and Multi-Scale Modeling. *Micromachines*, 11 (6), 614. doi: <https://doi.org/10.3390/mi11060614>
15. Polanco-Loria, M., Clausen, A. H., Berstad, T., Hopperstad, O. S. (2010). Constitutive model for thermoplastics with structural applications. *International Journal of Impact Engineering*, 37 (12), 1207–1219. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2010.06.006>
16. Hopmann, C., Xiao, C., Kahve, C. E., Fellerhoff, J. (2021). Prediction and validation of the specific volume for inline warpage control in injection molding. *Polymer Testing*, 104, 107393. doi: <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2021.107393>

DOI: [10.15587/1729-4061.2021.247552](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.247552)

INCREASING WEAR AND CORROSION RESISTANCE OF STEEL PRODUCTS BY COMBINED LASER THERMOMECHANICAL TREATMENT (p. 72–80)

Oleksandr Danyleiko

National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8501-0421>

Vitaliy Dzhemelinskyi

National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5797-0134>

Dmytro Lesyk

National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6919-7409>

A technique is presented for hardening metal products, in particular, the main tools (hammers) and cases of core drilling bits made of steel 30HGSA, using thermomechanical surface treatment according to a separate scheme. The method of combined laser thermomechanical hardening used in the study consists in the use of shot peening followed by laser heat treatment. Its use makes it possible to increase the operational properties of steel products, in particular, their wear and corrosion resistance. Based on the results of theoretical and experimental studies, the paper substantiates the features of dynamic surface plastic deformation for the analysis of impact during shot peening. The advantages of using laser hardening without surface melting are presented. Experimental research methods are proposed for determining the structural-phase composition, structure of the surface layer, hardness and microhardness of the hardened zones of steel 30HGSA. The range of rational modes of impact shot peening and thermal laser treatment has been determined. A device for testing samples for wear resistance has been developed. Methods of testing for wear and corrosion resistance of the surface of samples are proposed for assessing the tribological properties and contact interaction of materials under quasi-static and dynamic loading conditions. It is concluded that rational technological modes of hardening tools made of steel 30HGSA using combined laser thermomechanical treatment allow increasing the depth of the hardened layer by ~1.5 times compared to laser heat treatment. In addition, they provide the microhardness of the surface layer of ~5400 MPa, which is ~2.5 times higher than the microhardness of the base material.

Keywords: combined surface hardening, shot peening, laser heat treatment, steel 30HGSA.

References

1. Klocke, F., Schulz, M., Gräfe, S. (2017). Optimization of the Laser Hardening Process by Adapting the Intensity Distribution to Generate a Top-hat Temperature Distribution Using Freeform Optics. *Coatings*, 7 (6), 77. doi: <https://doi.org/10.3390/coatings7060077>
2. Lesyk, D., Martinez, S., Morduk, B., Dzhemelinskyi, V., Danylienko, O. (2018). Combined Laser-Ultrasonic Surface Hardening Process for Improving the Properties of Metallic Products. *Advances in Design, Simulation and Manufacturing*, 97–107. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-93587-4_11
3. Radziejewska, J. (2011). Influence of laser-mechanical treatment on surface topography, erosive wear and contact stiffness. *Materials & Design*, 32 (10), 5073–5081. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2011.06.035>
4. Li, Z., Tong, B., Zhang, Q., Yao, J., Kovalenko, V. (2020). Microstructure refinement and properties of 1.0C-1.5Cr steel in a duplex treatment combining double quenching and laser surface quenching. *Materials Science and Engineering: A*, 776, 138994. doi: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2020.138994>
5. Dzhemelinskyi, V., Lesyk, D., Danyleiko, O., Bernatskyi, A. (2020). Increasing the efficiency of surface strengthening of metal products by combined thermodeformation processing. *Vibrations in Engineering and Technology*, 1 (96), 103–110. doi: <https://doi.org/10.37128/2306-8744-2020-1-11>
6. Santhanakrishnan, S., Kong, F., Kovacevic, R. (2012). An experimentally based thermo-kinetic phase transformation model for multi-pass laser heat treatment by using high power direct diode laser. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 64 (1-4), 219–238. doi: <https://doi.org/10.1007/s00170-012-4029-z>

7. Babu, P. D., Balasubramanian, K. R., Buvanashakaran, G. (2011). Laser surface hardening: a review. *International Journal of Surface Science and Engineering*, 5 (2/3), 131. doi: <https://doi.org/10.1504/ijsurfse.2011.041398>
8. Dzhemelinskiy, V., Lesyk, D., Goncharuk, O., Danyleiko, O. (2018). Surface hardening and finishing of metallic products by hybrid laser-ultrasonic treatment. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (12 (91)), 35–42. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.124031>
9. Morisada, Y., Fujii, H., Mizuno, T., Abe, G., Nagaoka, T., Fukusumi, M. (2009). Nanostructured tool steel fabricated by combination of laser melting and friction stir processing. *Materials Science and Engineering: A*, 505 (1-2), 157–162. doi: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2008.11.006>
10. Lesyk, D. A., Mordiyuk, B. N., Martinez, S., Iefimov, M. O., Dzhemelinskiy, V. V., Lamikiz, A. (2020). Influence of combined laser heat treatment and ultrasonic impact treatment on microstructure and corrosion behavior of AISI 1045 steel. *Surface and Coatings Technology*, 401, 126275. doi: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2020.126275>
11. Leech, P. W. (2014). Laser surface melting of a complex high alloy steel. *Materials & Design (1980-2015)*, 54, 539–543. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2013.08.060>
12. Shen, L., Wang, L., Wang, Y., Wang, C. (2010). Plasma nitriding of AISI 304 austenitic stainless steel with pre-shot peening. *Surface and Coatings Technology*, 204 (20), 3222–3227. doi: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2010.03.018>
13. Nanasa, H. G., Boulgakoff, J., Jahazi, M. (2016). Influence of prior cold deformation on microstructure evolution of AISI D2 tool steel after hardening heat treatment. *Journal of Manufacturing Processes*, 22, 115–119. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2016.02.002>
14. Fan, Z., Xu, H., Li, D., Zhang, L., Liao, L. (2012). Surface Nanocrystallization of 35# Type Carbon Steel Induced by Ultrasonic Impact Treatment (UIT). *Procedia Engineering*, 27, 1718–1722. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.12.641>
15. Ye, C., Telang, A., Gill, A. S., Suslov, S., Idell, Y., Zwiackier, K. et al. (2014). Gradient nanostructure and residual stresses induced by Ultrasonic Nano-crystal Surface Modification in 304 austenitic stainless steel for high strength and high ductility. *Materials Science and Engineering: A*, 613, 274–288. doi: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2014.06.114>
16. Lupkin, B. V. (2013). Hardening by means of surface plastic forming. *Otkrytye informatsionnye i komp'yuternye integrirovannye tekhnologii*, 58, 40–48.
17. Lesyk, D., Martinez, S., Mordiyuk, B., Dzhemelinskiy, V., Danyleiko, O. (2020). Effects of the Combined Laser-Ultrasonic Surface Hardening Induced Microstructure and Phase State on Mechanical Properties of AISI D2 Tool Steel. *Advances in Design, Simulation and Manufacturing II*, 188–198. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-22365-6_19
18. Bhavar, V., Patil, S. V., Kattire, P., Date, P. P., Singh, R. K. P. (2017). Influence of Shot Peening on DIN 1.2714 Hot Work Tool Steel. *Journal of Materials Science and Chemical Engineering*, 05 (01), 81–90. doi: <https://doi.org/10.4236/msce.2017.51012>
19. Zhang, P.-L., Yan, H., Xu, P.-Q., Yu, Z.-S., Li, C.-G., Lu, Q.-H. (2014). Effect of laser surface hardening on the microstructure, hardness, wear resistance and softening of a low carbon steel. *Lasers in Engineering*, 28 (3/4), 135–149.
20. Lesyk, D., Martinez, S., Mordiyuk, B., Dzhemelinskiy, V., Lamikiz, A. (2021). Wear Characteristics of Carbon and Tool Steels Hardened

by Combined Laser-Ultrasonic Surface Treatment. *Advances in Design, Simulation and Manufacturing IV*, 62–72. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-77719-7_7

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.244876

NUMERICAL INVESTIGATION ON CRACK ANALYSIS OF H13 FIXED DIE AND STRUCTURAL ANALYSIS OF MOVING DIE WITH TWO DIFFERENT MATERIALS (p. 81–86)

Hassan Abdurssoul Abdulhadi

Middle Technical University, Baghdad, Iraq

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8658-5454>

Die casting is forcing molten metal into a mould with high pressure. Die casting has two dies namely moving die and fixed die where the moving one will move over the fixed die. Die casting is majorly used for high-volume production. This paper focused on the physical phenomenon of die casting for two dies (moving die and fixed die) using two different alloy materials with variable material chemical compositions.

The numerical analysis is carried out for the die casting process to determine the crack formation zone by temperature distribution and structural analysis by stress-strain relationship. The numerical analysis is carried out for both the dies. The fixed die is analyzed with an H13 tool steel material with two moving die materials as aluminum alloy (A356) and magnesium alloy (AZ91D). Both the dies (fixed and moving) were designed by using design software and meshing is carried out followed by analysis using the analysis software. The physical parameter for the dies is applied that is temperature distribution is carried out by applying a temperature of 850 °C and 650 °C over the fixed die for aluminum and magnesium alloy, respectively. Structural analysis is carried out for the moving die with a load of 1,000 N for both aluminum and magnesium alloys with 1000 number of iterations. The results from the numerical analysis are derived and analyzed for both temperature distribution and structural analysis. The crack formation zone is found out by means of temperature gradient and the stress-strain relationship is found out by means of structural analysis. From the results, it was concluded that the crack zone is obtained at 1.22E-10 °C/mm and 6.856E-14 °C/mm of thermal gradient and structural analysis in terms of maximum stress of 446.94 MPa and 448.52 MPa for aluminum and magnesium alloys, respectively.

Keywords: Die casting, Aluminum, Magnesium, Crack analysis, Temperature distribution, Thermal gradient.

References

1. Klobčar, D., Tušek, J., Taljat, B. (2008). Thermal fatigue of materials for die-casting tooling. *Materials Science and Engineering: A*, 472 (1-2), 198–207. doi: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2007.03.025>
2. Weiler, J. P. (2019). A review of magnesium die-castings for closure applications. *Journal of Magnesium and Alloys*, 7 (2), 297–304. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jma.2019.02.005>
3. Markežič, R., Naglič, I., Mole, N., Šturm, R. (2019). Experimental and numerical analysis of failures on a die insert for high pressure die casting. *Engineering Failure Analysis*, 95, 171–180. doi: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2018.09.010>
4. Shahane, S., Aluru, N., Ferreira, P., Kapoor, S. G., Vanka, S. P. (2020). Optimization of solidification in die casting using numerical simulations and machine learning. *Journal of Manufacturing Processes*, 51, 130–141. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2020.01.016>

5. Yazman, Ş., Köklü, U., Urtekin, L., Morkavuk, S., Gemi, L. (2020). Experimental study on the effects of cold chamber die casting parameters on high-speed drilling machinability of casted AZ91 alloy. *Journal of Manufacturing Processes*, 57, 136–152. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2020.05.050>
6. Greß, T., Mittler, T., Chen, H., Stahl, J., Schmid, S., Ben Khalifa, N., Volk, W. (2020). Production of aluminum AA7075/6060 compounds by die casting and hot extrusion. *Journal of Materials Processing Technology*, 280, 116594. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2020.116594>
7. Aravind, S., Ragupathi, P., Vignesh, G. (2021). Numerical and experimental approach to eliminate defects in Al alloy pump- crank case processed through gravity die casting route. *Materials Today: Proceedings*, 37, 1772–1777. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.07.365>
8. Jiao, X., Liu, C., Wang, J., Guo, Z., Wang, J., Wang, Z. et. al. (2020). On the characterization of microstructure and fracture in a high-pressure die-casting Al-10 wt%Si alloy. *Progress in Natural Science: Materials International*, 30 (2), 221–228. doi: <https://doi.org/10.1016/j.pnsc.2019.04.008>
9. Hu, C., Zhao, H., Wang, X., Fu, J. (2020). Microstructure and properties of AlSi12Fe alloy high pressure die-castings under different vacuum levels. *Vacuum*, 180, 109561. doi: <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2020.109561>
10. Kang, S.-H., Han, J.-J., Hwang, W.-T., Lee, S.-M., Kim, H.-K. (2019). Failure analysis of die casting pins for an aluminum engine block. *Engineering Failure Analysis*, 104, 690–703. doi: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2019.06.053>
11. Liu, W., Peng, T., Tang, R., Umeda, Y., Hu, L. (2020). An Internet of Things-enabled model-based approach to improving the energy efficiency of aluminum die casting processes. *Energy*, 202, 117716. doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117716>
12. Lordan, E., Lazaro-Nebreda, J., Zhang, Y., Dou, K., Blake, P., Fan, Z. (2020). On the relationship between internal porosity and the tensile ductility of aluminium alloy die-castings. *Materials Science and Engineering: A*, 778, 139107. doi: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2020.139107>
13. Xiong, S. M., Lau, F., Lee, W. B., Jia, L. R. (2003). Numerical methods to improve the computational efficiency of thermal analysis for the die casting process. *Journal of Materials Processing Technology*, 139 (1-3), 457–461. doi: [https://doi.org/10.1016/s0924-0136\(03\)00553-3](https://doi.org/10.1016/s0924-0136(03)00553-3)
14. Zhao, H. D., Wang, F., Li, Y. Y., Xia, W. (2009). Experimental and numerical analysis of gas entrapment defects in plate ADC12 die castings. *Journal of Materials Processing Technology*, 209 (9), 4537–4542. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2008.10.028>
15. Srivastava, A., Joshi, V., Shivpuri, R. (2004). Computer modeling and prediction of thermal fatigue cracking in die-casting tooling. *Wear*, 256 (1-2), 38–43. doi: [https://doi.org/10.1016/s0043-1648\(03\)00281-3](https://doi.org/10.1016/s0043-1648(03)00281-3)

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.246414

ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ РЕІНЖИНІРИНГУ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАДАНОЇ ГЕОМЕТРИЧНОЇ ТОЧНОСТІ КІЛЯ ЛЕГКОГО ЛІТАКА (с. 6–12)

К. В. Майорова, Ю. А. Воробйов, М. М. Бойко, В. О. Супоніна, О. Л. Комісаров

Предметом дослідження є технологія реінжинірингу та контролю деталей авіаційних об'єктів (АО) та технологічного оснащення для їх виготовлення. Забезпечення заданої точності кіля легкого літака і формуютьвірющоючих поверхонь технологічного оснащення для його виготовлення виконано з використанням технології реінжинірингу та САD-систем. Створено портрет з реального фізично існуючого кіля легкого літака в форматі файлу «*.stl» в програмі Artex Studio (США). Реалізовано контроль та порівняння геометрії форм аналітичного еталону з реальним фізично існуючим кілем легкого літака за його портретом. Використовуваними методами є аналіз та синтез дослідної геометрії форм, метод експертних оцінок. Отримано такі результати. Згідно аналізу та синтезу, виявлено наявність суттєвих похибок в точності виготовлення кіля легкого літака в діапазоні від $-5,26$ мм до $+5,39$ мм. Показано, що вирішуючим фактором є показник відносної площини кіля, який знаходиться за межами поля допуску і становить 85 %. Було прийнято рішення виготовити нове технологічне оснащення з іншого матеріалу – органопластику. Контроль технологічного оснащення з органопластику кіля легкого літака показав, що формуютьвірющоючі поверхні оснащення мають відповідні до існуючого аналітичного еталону форми та розміри і позбавлені неточностей, які були допущені в попередньому варіанті. Діапазон похибок кіля, виготовленого за новим технологічним оснащенням з органопластику становить, від $-0,51$ мм до $+0,34$ мм, а відносна площина кіля, що знаходиться за межами поля допуску, не перевищує 15 %. Результати показали адекватність прийнятих рішень, що забезпечують задану точність кіля легкого літака і формуютьвірющоючих поверхонь технологічного оснащення для його виготовлення.

Ключові слова: реінжиніринг авіаційних об'єктів, аналітичний еталон, точність форм та розмірів, технологічне оснащення.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.245360

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ГОФРОВАНИХ МЕТАЛЕВИХ ПРОКЛАДОК В ТРУБНІЙ СИСТЕМІ КОТЛА ЗА ДОПОМОГОЮ БАГАТОШАРОВОГО ПОКРИТТЯ (с. 13–20)

Didik Nurhadiyanto, Shigeyuki Haruyama, Mujiyono, Sutopo, Yunaidi, Fredy Surahmanto, Moch Agus Choiron, Novian Indra Kusuma, Nur Chalid Fauzi

Гофровані металеві прокладки все ще знаходяться на ранніх стадіях розробки. Однак контактні фланці прокладок з високою шорсткістю поверхні (більше 3,5 мкм) протікають і вимагають великого зусилля затягування. Було розроблено гофровану металеву прокладку з нікелевим або мідним покриттям. Для вимірювання витоків використовували гідравлічне випробування. Результати показали більш високу ефективність прокладок з нікелевим або мідним покриттям. Вплив високої температури не вивчався, тільки високий тиск. Метою даного дослідження є використання мідних та нікелевих покриттів для покращення ефективності гофрованих металевих прокладок. Мідь або нікель проникають в шорстку поверхню фланця труби, що запобігає витокі. Метою даного дослідження також є вивчення ефективності гофрованої металеві прокладки з покриттям в системі котла з високою температурою і тиском. Гофровані металеві прокладки були сформовані з використанням процесу холодного штампування. В якості матеріалу прокладок використовували SUS304, покрити міддю або нікелем за допомогою гальванізації. Прокладка була встановлена в ряді труб котла, по яких тече вода з високою температурою і тиском. Витік води капає на білий папір, який був підкладений під прокладку. На білому папері виявляються навіть невеликі витки води. Витки пари можна виявити за допомогою тепловізора. Результати досліджень показують підвищення ефективності гофрованої металеві прокладки з покриттям, про що свідчить зменшення витоків. За максимального тиску 7 бар та найменшого зусилля затяжки 40 кН жодна прокладка не протекла. Цей результат відрізняється від стандартних гофрованих металевих прокладок, де при аналогічному тиску і температурі спостерігаються витки пари та води. Для покриття гофрованих металевих прокладок з SUS304 можна використовувати як мідні, так і нікелеві покриття.

Ключові слова: покриття, нікель, мідь, гофровані металеві прокладки, ефективність, витік, багатощаровий, котел.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.248972

ВСТАНОВЛЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ПОКАЗНИКА МІЦНОСТІ КОМПОЗИТНОГО МАТЕРІАЛУ НАПІРНИХ ПОЖЕЖНИХ РУКАВІВ ВІД ХАРАКТЕРУ ОДИНОЧНИХ ПОШКОДЖЕНЬ (с. 21–27)

С. Ю. Назаренко, Г. О. Кушнарйова, Н. Я. Масліч, Л. В. Кнауб, Н. Ю. Науменко, Р. І. Коваленко, В. М. Конкін, О. І. Сухарйкова, О. М. Колонов

Представлені експериментальні дослідження та встановлено залежність зміни міцності матеріалу напірного пожежного рукава типу «Т» з внутрішнім діаметром 77 мм у поздовжньому напрямку з урахуванням одиночних пошкоджень. Описано план проведення експерименту та було проведено низку натурних експериментів з метою визначення впливу довжини l_d та глибини K пошкодження на міцність F матеріалу рукава, тобто одержання залежності $F=f(l_d, K)$. Використано математичний метод планування експерименту та складено план повного багатфакторного експерименту типу 2^k з допустимою точністю моделі 5 %. Межі варіювання факторів встановлюються з урахуванням апріорної інформації, експериментальних можливостей і на основі результатів попередніх пошукових експериментів. Отримано залежність в кодованих та натурних значеннях факторів. Достовірність залеж-

ності було перевірено за допомогою критерію Фішера розрахункове значення якого становило 5,98, що підтверджує адекватність описаного процесу з вірогідністю в 95 %.

Аналізуючи експериментальні дослідження залежності зміни міцності матеріалу рукава від довжини та глибини пошкодження можна сказати, що зміна міцність матеріалу рукава майже лінійно залежить від зазначених параметрів пошкодження. Встановлено, що при збільшенні пошкодження суттєво зменшується міцність матеріалу рукава. При варіюванні фактору довжини та найбільшій глибині пошкодження $K=0.4$ мм відбувається зменшення міцності матеріалу рукава від 11.67 кН до 8.77 кН, а в процентному відношенні на 25 %.

Отримані результати можливо використовувати в практичних підрозділах аварійно-рятувальних формувань при діагностуванні прихованих пошкоджень у напірних пожежних рукавах з метою запобігання виходу їх з ладу на пожежах.

Ключові слова: напірний пожежний рукав, міцність матеріалу, експериментальні дослідження, план проведення експерименту, межі варіювання пошкодження.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.244903

РОЗРОБЛЕННЯ КОТКА-ПОДРІБНЮВАЧА СТЕБЕЛ СОНЯШНИКУ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ РЕЖИМІВ ЙОГО РОБОТИ (С. 28–37)

В. О. Шейченко, В. А. Вольський, Р. В. Коцюбанський, В. І. Днесь, М. В. Шевчук, О. І. Біловод, О. У. Дрожчана

Досліджено технологічний процес подрібнення рослинних решток соняшнику та причинно-наслідковий зв'язок чинників, що обумовлюють систему формувань показників якості. Створено необхідні передумови визначення раціональних режимів та параметрів котка-подрібнювача.

Розроблено та виготовлено дослідний зразок котка-подрібнювача, у якого ріжучі ножі розміщено по всій ширині захвату у шаховому порядку з можливістю змінювати кут нахилу до осі обертання барабана в діапазоні 5...20°.

Встановлено, що за правого розташування ріжучої кромки ножів найбільший сумарний рівень відсотку подрібнених стебел у діапазоні 101–150 мм з довантаженням масою 800 кг перевищував у 1,58 рази відповідні показники котка з довантаженням 600 кг. Найбільше сумарне значення відсотку подрібнених стебел у діапазоні 0–200 мм за умов довантаження котка масою 800 кг у 1,13 рази перевищувало відповідні показники котка з довантаженням 600 кг.

У діапазоні 0–200 мм за умов 600 кг довантаження котка, лівого розташування ріжучої кромки ножів котка відмічено вищі сумарні відсотки подрібнених стебел у порівнянні з правим. За швидкості 7,45 км/год, 13,6 км/год накопичене значення відсотку подрібнених стебел перевищувало відповідні показники з правим розташуванням ножів у 1,09 рази, швидкості 18,6 км/год – у 1,04 рази, швидкості 22 км/год – 1,04 рази відповідно.

Відмічено, що за умов лівого розташування ріжучої кромки ножів котка, відсоток подрібнених стебел у діапазоні 51–100 мм за рівнем довантаження 600 кг перевищував відповідні показники з довантаженням 800 кг. Це перевищення за швидкості 10,08 км/год складало 1,9 рази, за швидкості 13,6 км/год – 1,44 рази, за швидкості 18,6 км/год – 1,96 рази, швидкості 22 км/год – 1,99 рази, відповідно.

Ключові слова: подрібнення стебел соняшнику, рослинні рештки, зароблення рослинних решток, обробіток ґрунту, коток-подрібнювач, показники якості подрібнення.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.246397

РОЗРОБКА УНІВЕРСАЛЬНОГО ДЖЕРЕЛА ДЛЯ НАПІВАВТОМАТИЧНОГО ЗВАРЮВАННЯ ЗМІННИМ СТРУМОМ І ІНДУКЦІЙНОГО НАГРІВУ (с. 38–46)

В. В. Бурлака, О. В. Лаврова, С. К. Поднебенна, В. П. Іванов, С. В. Буріков

Запропоновано схемне рішення і алгоритм управління джерелом живлення для напівавтоматичного зварювання на змінному струмі з поліпшеними енергетичними та масогабаритними характеристиками. Відмінною особливістю розробленого джерела є відсутність вихідного випрямляча: зварювання здійснюється високочастотним змінним струмом. Це дозволило значно знизити втрати потужності в джерелі, а також отримати можливість реалізації індукційного нагріву шляхом підключення до виходу джерела індуктора.

Ще однією відмінною особливістю розробленого джерела є підвищений коефіцієнт потужності і знижений рівень вищих гармонік споживаного струму. Коефіцієнт потужності описаного джерела досягає 0,94 проти 0,5÷0,7 у джерел, що мають звичайний випрямляч з ємнісним згладжуванням.

Розроблене джерело має в своєму складі систему живлення приводу подачі дроту зі стабілізацією швидкості за рахунок позитивного зворотного зв'язку за струмом двигуна. Це дозволило забезпечити стійку роботу приводу подачі в широкому діапазоні швидкостей. Розроблено також макет пальника для зварювання флюсовим дротом, що містить привод подачі і котушку з дротом (діаметром до 100 мм) розташованою, з метою зменшення габаритів, в ручці пальника.

Крім функції зварювання, джерело дозволяє вирішувати завдання індукційного нагріву та/або гарту невеликих деталей, для чого до його виходу підключається малогабаритний індуктор.

Випробування джерела показали працездатність запропонованих ідей і схемних рішень. Габарити джерела становлять 190×107×65 мм, маса 1,4 кг, вихідний струм до 120 А. Запропоноване технічне рішення дозволяє створювати малогабаритні, легкі, універсальні, зручні в використанні джерела живлення для напівавтоматичного зварювання з опцією індукційного нагріву.

Ключові слова: напівавтоматичне зварювання, джерело живлення, індукційний нагрів, якість електроенергії, коефіцієнт потужності, FCAW зварювання.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.244617

ВПЛИВ ХАРАКТЕРИСТИК ПОВЕРХНІ ГОФРОКАРТОНУ НА ЯКІСТЬ СТРУМИННОГО ДРУКУ (с. 47–55)

О. В. Зоренко, Я. В. Зоренко, І. С. Купалкіна-Лугова, В. М. Скиба, Р. А. Хохлова

Досліджено якість струминного друку на гофрокартоні із різними характеристиками: наявністю лакування поверхні, типом структури картону, профілю гофрованого шару та висотою гофрокартону.

Проаналізовано колірні характеристики поверхні досліджуваних зразків гофрокартону в системі CIE Lab та встановлено величину розбіжності по відтінку білого тону, при порівнянні із еталонними значеннями стандарту ISO 12647.

В ході дослідження було проаналізовані основні критерії оцінки якості кольоровідтворення відбитків струминного друку: показник рівня загального контрасту (K), величина колірних відмінностей для основних відтінків тону (ΔE) та обсяг тіла колірного охоплення (ΔE^2).

Встановлено, що при друці на різних типах гофрованого картону спостерігається загальне зниження величини загального контрасту. Найвищий рівень колірних відмінностей становить $\Delta E=10..45$ та перевищує допустимі норми з якості відтворення кольору. Це негативно впливає на відтворення різноманітних відтінків кольору друкованого зображення. Загалом якість відтворення кольору різниться для досліджуваних зразків гофрованого картону за величиною розкиду значень колірних спотворень на відтинках тону.

Проаналізовано вплив основних характеристик досліджуваних зразків гофрованого картону на якісні показники струминного друку. Зокрема, встановлено значний вплив показника колірних характеристик поверхні гофрованого картону L^* і типу структури гофрованого картону на якість відтворення кольору.

Отримані результати дослідження дозволяють обґрунтовано підходити до підбору оптимальної за складом структури гофрованого картону, підвищити продуктивність технологічного процесу виготовлення тари та стабілізувати якість друкування на гофрованому картоні.

Ключові слова: гофрований картон, колірні відмінності, контраст друку, струминний друк, якість відбитку.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.244241

ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ПОРОЖНИСТИХ ЦИЛІНДРИЧНИХ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБІЛІВ ШЛЯХОМ УТОЧНЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РОЗРАХУНКОВИХ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ (с. 56–64)

Р. Г. Пузир, В. Т. Щетинін, В. В. Воробйов, О. Ф. Саленко, Р. Г. Аргат, Т. В. Гайкова, С. В. Яхін, В. В. Муравльов, Ю. Б. Скоряк, І. С. Негребецький

Показано, що технологічна підготовка виробництва становить 20–70 % від загальної трудомісткості технічної підготовки і скорочення її трудомісткості дозволить підвищити гнучкість виробництва. Велика роль в цьому відводиться прикладним програмам кінцево-елементного моделювання. Однак для підприємств одиничного і дрібносерійного виробництва такі програмні комплекси іноді придбати не вдається в силу різних причин. Тому тут використовують спеціальні емпіричні та аналітичні розрахункові моделі, які виявилися досить ефективними в типових процесах металообробки. На прикладі витягування циліндричної порожнистої деталі показано вдосконалення аналітичної залежності для розрахунку меридіональних напружень, що розтягують. В існуючих аналітичних моделях процесу вигинаючий момент враховувався додатковими напруженнями, які підсумовувалися до основних напружень. Однак такий підхід лише наближено описував процес деформації. Уточнити існуючі аналітичні залежності вдалося введенням в диференціальні рівняння рівноваги члена, що враховує вигинаючий момент, який діє в меридіональному напрямку при переході заготовки закруглення на ребрі матриці. Аналіз отриманого виразу показав, що вигин заготовки викликає появу розтягуючих меридіональних напружень, які залежать від співвідношення квадратів товщини заготовки і радіуса закруглення матриці. Збіг результатів розрахункових даних для чисельної та теоретичної моделей спостерігався для малих величин радіусів закруглення матриці 1–2 мм, чим підтверджується адекватність аналітичного рішення. У чисельній моделі є екстремальна точка, де напруження, що розтягують, мають мінімум, а після неї починають зростати, це відповідає радіусу закруглення матриці 5 мм.

Ключові слова: технологічний процес, оснащення матриця, витягування, пластична деформація, плоска заготовка, радіус закруглення, меридіональні напруження.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.248375

АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ФАКТОРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА МАСОВЕ ВИРОБНИЦТВО В ПРОЦЕСІ ЛИТТЯ ПЛАСТМАС З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ КІНЦЕВИХ ЕЛЕМЕНТІВ (с. 65–71)

Hani Mizhir Magid, Badr Kamoon Dabis, Mohammad abed alabas Siba

Лиття пластмас під тиском широко використовується в багатьох галузях промисловості. Вироби з пластику в основному використовуються в якості одноразових або портативних деталей для швидкої заміни в багатьох пристроях і машинах. Однак масове виробництво завжди розглядається як ідеальний метод задоволення величезних вимог і потреб клієнтів. Одними з основних проблем є деформації через термічні напруження, нерівномірний розподіл тиску по порожнинах, усадка, прилипання та загальна якість виробів. Основною метою даної роботи є аналіз розподілу напруг навколо порожнин під час формування та вилучення з форми для усунення їхнього впливу на якість продукції. Крім того, діагностика критичних точок тиску навколо і в цілому області виступу порожнини, яка піддається впливу високого тиску, дозволяє визначити оптимальний розподіл тиску і одночасно забезпечити заповнення всіх порожнин, що є ще одним важливим завданням. Для проектування та моделювання використовуються системи автоматизованого проектування (САПР) та CATIA V5R20. Для аналізу цього процесу, було розроблено комерційне програмне забезпечення автомати-

зованого проектування (CAE) ABAQUS 6141 в якості пакетів моделювання методом кінцевих елементів. Результати моделювання показують, що розподіл напруг по порожнинах залежить як від тиску, так і від градієнта температури по контактних поверхнях і може розглядатися як основний фактор впливу. Допустимі діапазони напруг в порожнині визначалися за такими значеннями: температура порожнини та області серцевини 55–65 °С, час заповнення 10–20 с, тиск виштовхування 0,85 % від тиску лиття і час витримки 10–15 с. Крім того, теоретичні результати показують можливість управління рівномірністю розподілу тиску і температури шляхом регулювання розташування порожнин, розміру литника та затвора. Більш того, процес моделювання показує, що для оцінки загальної технологічності перед подальшими інвестиціями в оснащення можливо виявити і полегшити багато труднощів в процесі та модифікувати прототип. Крім того, можна зробити висновок, що кількість ітерацій оснащення буде зведено до мінімуму відповідно до схеми обраного процесу.

Ключові слова: масове виробництво, лиття під тиском, тиск, температура, кінцевий елемент, якість.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.247552

ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСО- ТА КОРОЗІЙНОЇ СТІЙКОСТІ СТАЛЕВИХ ВИРОБІВ КОМБІНОВАНОЮ ЛАЗЕРНОЮ ТЕРМОМЕХАНІЧНОЮ ОБРОБКОЮ (с. 72–80)

О. О. Данилейко, В. В. Джемелінський, Д. А. Лесик

Представлено методику зміцнення металевих виробів, зокрема головних інструментів (молотків) та корпусів коронок для конковог буріння, виготовлених зі сталі 30ХГСА, з використанням термомеханічної поверхневої обробки за роздільною схемою. Застосована в дослідженні методика комбінованої лазерної термомеханічної зміцнення полягає у використанні дробоструминної обробки з подальшою лазерною термічною обробкою. Її застосування дозволяє підвищити експлуатаційні властивості сталевих деталей, зокрема їх зносо- та корозійну стійкість. За результатами проведених теоретичних та експериментальних досліджень у роботі обґрунтовано особливості динамічного поверхневого пластичного деформування для аналізу процесу удару при дробоструминній обробці. Представлено переваги використання лазерного гартування без оплавлення поверхні. Запропоновано методики експериментальних досліджень для визначення структурно-фазового складу, структури поверхневого шару, твердості та мікротвердості зміцнених зон сталі 30ХГСА. Визначено діапазон раціональних режимів ударної дробоструминної обробки та лазерної термічної обробки. Розроблено установку для випробування зразків на зносостійкість. Запропоновано методи випробувань на зношування і корозійну стійкість поверхні зразків для оцінки трибологічних властивостей та контактної взаємодії матеріалів за умов квазістатичних та динамічних режимів навантаження. Визначено, що раціональні технологічні режими зміцнення інструментів зі сталі 30ХГСА з використанням комбінованої лазерної термомеханічної обробки дозволяють збільшити глибину зміцненого шару в ~1,5 рази, порівняно з лазерною термообробкою. Крім того, вони забезпечують мікротвердість поверхневого шару ~5400 МПа, що в ~2,5 рази перевищує значення мікротвердості матеріалу основи.

Ключові слова: комбіноване поверхнєве зміцнення, дробоструминна обробка, лазерна термообробка, сталь 30ХГСА.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.244876

ЧИСЕЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ АНАЛІЗУ ТРІЩИН НЕРУХОМОЇ МАТРИЦІ ЗІ СТАЛІ Н13 І СТРУКТУРНИЙ АНАЛІЗ РУХОМОЇ МАТРИЦІ З ДВОХ РІЗНИХ МАТЕРІАЛІВ (с. 81–86)

Hassan Abdulrissoul Abdulhadi

Лиття під тиском – це нагнітання розплавленого металу в форму під високим тиском. Для лиття під тиском використовуються дві матриці, а саме рухома і нерухома матриці, при цьому рухома матриця переміщається по нерухомій матриці. Лиття під тиском в основному використовується у великосерійному виробництві. У даній роботі основна увага приділяється фізичному явищу лиття під тиском для двох матриць (рухомої і нерухомої) з використанням двох різних сплавів з різним хімічним складом.

Проведений чисельний аналіз процесу лиття під тиском для визначення області тріщиноутворення за розподілом температури та структурний аналіз за залежністю напруги від деформації. Чисельний аналіз виконано для обох матриць. Проведений аналіз нерухомої матриці з інструментальної сталі Н13 і рухомої матриці з двох матеріалів – алюмінієвого сплаву (А356) і магнієвого сплаву (AZ91D). Обидві матриці (нерухома і рухома) були спроектовані з використанням програмного забезпечення для проектування. Виконано створення сітки з подальшим аналізом з використанням програмного забезпечення для аналізу. Застосовано фізичний параметр для матриць, а саме розподіл температури здійснюється шляхом прикладання температури 850 °С і 650 °С до нерухомої матриці для алюмінієвого і магнієвого сплаву відповідно. Проведено структурний аналіз рухомої матриці з навантаженням 1000 Н як для алюмінієвого, так і для магнієвого сплаву з числом ітерацій 1000. Результати чисельного аналізу отримані і проаналізовані як для розподілу температури, так і для структурного аналізу. Область тріщиноутворення визначена за допомогою температурного градієнта, залежність напруги від деформації – за допомогою структурного аналізу. З результатів був зроблений висновок, що область тріщини виходить при 1,22 Е-10 °С/мм і 6,856 Е-14 °С/мм температурного градієнта і структурного аналізу з точки зору максимальної напруги 446,94 МПа і 448,52 МПа для алюмінієвого і магнієвого сплаву відповідно.

Ключові слова: лиття під тиском, алюміній, магній, аналіз тріщин, розподіл температури, температурний градієнт.