

ABSTRACT AND REFERENCES

ENGINEERING TECHNOLOGICAL SYSTEMS

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.341457

**DESIGN OF A DECISION SUPPORT SYSTEM
FOR MAKING INFORMED DECISIONS ABOUT
SELECTION OF MACHINES FOR MANUFACTURING
LEATHER GARMENTS (p. 6–18)**

Oksana ZakhharkevichKhmelnitskiy National University, Khmelnytskyi, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6542-9727>**Julia Koshevko**Khmelnitskiy National University, Khmelnytskyi, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7275-0853>**Tetyana Zhylenko**Sumy State University, Sumy, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9717-3033>**Galina Shvets**Podillia Fashion Cluster, Khmelnytskyi, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7980-5474>**Svitlana Kuleshova**SC "Technology Consulting", Khmelnytskyi, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2361-2950>**Volodymyr Onofriichuk**Limited Liability Company "Scientific park of KhNU",
Khmelnitskiy, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2914-4986>**Alona Diakova**Khmelnitskiy National University, Khmelnytskyi, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-4049-7830>

This study investigates the process of selecting sewing machines for the manufacturing of products from artificial leather. Despite the active development of technological solutions for automation, the task of choosing optimal equipment remains relevant, requiring additional tools that can provide a connection between scientific approaches and industrial conditions. This paper reports the results of designing an automated decision support system for the selection of sewing equipment, aimed at bridging the gap between theoretical models and production needs.

The technological advancement is based on a three-level database structure. At the data storage level, a matrix-based database of equipment parameters was constructed, ensuring the consistency of information regarding technological operations, materials, and machine characteristics. At the logical level, a multifactor analysis algorithm was developed, utilizing the principles of graph theory, a binary matrix, and the linear programming method to select the optimal equipment model. The representation level is an interactive interface based on MS Excel (USA). Input parameters are selected by simply clicking on buttons with corresponding names (seam type, worker qualification, material properties, and thickness). The system automatically analyzes the database and generates a list of recommended equipment in a table format.

Verification was carried out through a survey involving 30 participants (86.7% were representatives of the academic community). The results show that 93.3% of respondents noted the high speed of the simulator while 90.0% rated its practicality and 86.7% its convenience. At the same time, certain shortcomings were identified, outlining areas for further research: 23.3% of those surveyed highlighted the

need to expand the database, and 16.7% emphasized the necessity of implementing a Ukrainian-language version.

It was established that the designed system is a universal tool that combines educational and practical-production dimensions. Its implementation in the educational process will contribute to achieving a number of program learning outcomes.

Keywords: machine selection, database, technological operation, sewing production, decision support system.

References

- Meyer, M., Dietrich, S., Schulz, H., Mondschein, A. (2021). Comparison of the Technical Performance of Leather, Artificial Leather, and Trendy Alternatives. *Coatings*, 11 (2), 226. <https://doi.org/10.3390/coatings11020226>
- Tokuda, F., Murakami, R., Seino, A., Kobayashi, A., Hayashibe, M., Kosuge, K. (2025). Fixture-Free 2D Sewing Using a Dual-Arm Manipulator System. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 22, 7927–7940. <https://doi.org/10.1109/tase.2024.3474914>
- Kong, R. W. M. (2025). Innovative Automated Stretch Elastic Waistband Sewing Machine for Garment Manufacturing. *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*. <https://doi.org/10.56726/irjmets70275>
- Jindal, H., Kaur, S. (2021). Robotics and Automation in Textile Industry. *International Journal of Scientific Research in Science, Engineering and Technology*, 8 (3), 40–45. <https://doi.org/10.32628/ijrsrset21839>
- Forlini, M., Ciccirelli, M., Carbonari, L., Papetti, A., Palmieri, G. (2024). Smart automation in luxury leather shoe polishing: a human centric robotic approach. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 38 (9), 1329–1343. <https://doi.org/10.1080/0951192x.2024.2421313>
- Huan, Y., Ren, G., Sun, J., Jin, G., Ding, X., Du, W. (2024). Efficient leather spreading operations by dual-arm robotic systems. *Scientific Reports*, 14 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-66904-2>
- Seino, A., Terayama, J., Tokuda, F., Kobayashi, A., Kosuge, K. (2022). Robot End-effector for Fabric Folding. <https://doi.org/10.36227/techrxiv.21283725.v1>
- Boz, S., Birkocak, D. T., Necef, Ö. K., Kiliç, A., Öndoğan, Z. (2022). Investigation of sewing parameters caused fabric damages. W: AUTEK 2022: 21st World Textile Conference AUTEK 2022 – AUTEK Conference Proceedings. Lodz, 40–44. <https://doi.org/10.34658/9788366741751.9>
- Tang, K., Tokuda, F., Seino, A., Kobayashi, A., Tien, N. C., Kosuge, K. (2024). Time-Scaling Modeling and Control of Robotic Sewing System. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 29 (4), 3166–3174. <https://doi.org/10.1109/tmech.2024.3398713>
- Martínez-Peral, F. J., Migallón, H., Borrell-Méndez, J., Martínez-Rach, M., Pérez-Vidal, C. (2024). Manipulation order optimization in industrial pick-and-place operations: application to textile and leather industry. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 133 (1-2), 987–1010. <https://doi.org/10.1007/s00170-024-13436-8>
- Zakhharkevich, O., Zhylenko, T., Koshevko, J., Shvets, G. (2023). Development of an algorithm for the reasoned selection of machines for leather garments manufacturing. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (3 (125)), 86–94. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.287482>

12. Shahriar, M. M., Parvez, M. S., Talapatra, S. (2022). Hierarchizing the Product Characteristics of Industrial Plain Sewing Machine for Making Best Purchase Decision. *Mathematical Problems in Engineering*, 2022, 1–17. <https://doi.org/10.1155/2022/2578875>
13. Kalwar, M. A., Khan, M. A., Wassan, A. N., Phul, Z., Shaikh, S. A., Marri, H. B. (2023). Automation of Post-Order Costing Analysis By Using Visual Basic For Applications In Microsoft Excel: A Case Study. *WPOM-Working Papers on Operations Management*, 14 (2), 101–136. <https://doi.org/10.4995/wpom.18697>
14. Swaminathan, V., Saffiudeen, M. F., Gupta, S., Alamri, Y. A. (2024). Review of semiconductor laser diode technologies for sustainable energy in leather machining. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 27 (2), 577–606. <https://doi.org/10.1007/s10098-024-02976-y>
15. Werheid, J., Melnychuk, O., Zhou, H., Huber, M., Rippe, C., Joosten, D. et al. (2024). Designing an LLM-Based Copilot for Manufacturing Equipment Selection. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2412.13774>
16. Kefale, G. Y., Bizuneh, B., Getachew, L., Karthikeyan, R. (2025). Innovative Pathways in Leather Industry: A Comprehensive Review of Sustainable Technologies and Strategies. *Journal of Scientific & Industrial Research*, 84 (6). <https://doi.org/10.56042/jsir.v84i6.10781>
17. Kim, M., Ahn, J., Kang, J., Kim, S. (2020). A Systematic Review on Smart Manufacturing in the Garment Industry. *Fashion & Textile Research Journal*, 22 (5), 660–675. <https://doi.org/10.5805/sfti.2020.22.5.660>
18. Zakharkevich, O., Poluchovich, I., Kuleshova, S., Koshevko, J., Shvets, G., Shvets, A. (2021). "CloStyler" – mobile application to calculate the parameters of clothing blocks. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1031 (1), 012031. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1031/1/012031>
19. Zakharkevich, O., Koshevko, J., Shvets, G., Kuleshova, S., Bazyliuk, E., Paraska, O., Kazlacheva, Z. (2022). Development of the Mobile Application to Calculate Parameters of Underwear Patterns. *Terotechnology XII*, 24, 309–315. <https://doi.org/10.21741/9781644902059-45>
20. Karakiş, E. (2021). Machine Selection for a Textile Company with CRITIC and MAUT Methods. *European Journal of Science and Technology*. <https://doi.org/10.31590/ejosat.994697>
21. Ulutaş, A. (2020). New Grey Integrated Model to Solve Machine Selection Problem for a Textile Company. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, 28 (1 (139)), 20–25. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0013.5853>
22. Tama Birkocak, D. (2022). Effects of Needle Size and Sewing Thread on Seam Quality of Traditional Fabrics. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 32 (3), 277–287. <https://doi.org/10.32710/tekstilvekonfeksiyon.1088043>
23. Syabani, Muh. W., Devi, C., Hermiyati, I., Angkasa, A. D. (2020). The effect of PVC's resin K-value on the mechanical properties of the artificial leather. *Majalah Kulit, Karet, Dan Plastik*, 35 (2), 75. <https://doi.org/10.20543/mkvp.v35i2.5639>
24. Watanabe, S., Tominaga, S., Horiuchi, T. (2020). The Difference in Impression between Genuine and Artificial Leather: Quantifying the Feeling of Authenticity. *Journal of Perceptual Imaging*, 3 (2), 020501-1-020501–020511. <https://doi.org/10.2352/j.percept.imaging.2020.3.2.020501>
25. Ersöz, T., Tenbeli, R., Ersöz, F. (2021). Visual analysis of turkey's textile sector with Gephi complex network. *Proceeding of 11th International Symposium on Intelligent Manufacturing and Service System. Sakarya*, 519–529. <https://doi.org/10.5281/zenodo.16411310>
26. Angeli. Available at: <https://angeli.net.ua/uk/juki>
27. Amtex. Available at: https://amtex.com.ua/brands/shvejnoe_oborydovanie_juki/
28. Lapka.com.ua. Available at: <https://www.lapka.com.ua/ua/brand-juki.aspx>
29. Sewtech. Available at: <https://sewtech.com.ua/uk/promislovi-shvejni-mashini/brand-juki/>
30. What is an Industrial Sewing Machine? Juki. Available at: <https://www.juki.co.jp/en/products/industrial/>
31. How to Analyze Data in Excel? Quick and Easy Steps. Available at: <https://techbii.com/how-to-analyze-data-in-excel-quick-and-easy-steps/>
32. Zakharkevich, O., Paraska, O., Koshevko, J., Shvets, G., Shvets, A., Zhylenko, T. (2023). Development of a Mobile Application to Study Sewing Techniques for Manufacturing Fur and Leather Clothes. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 31 (2), 1–10. <https://doi.org/10.2478/ftce-2023-0011>
33. TechLab. Available at: https://play.google.com/store/apps/details?id=appinventor.ai_zbirvukladach.TL1&hl=uk&gl=US
34. ISO 4916:1991 (1991). Textiles – Seam types – Classification and terminology. Printed in Switzerland/Imprime en Suisse, 64.
35. Osvitnia prohrama "Tekhnolohiyi lehkoi promyslovosti" (riven mahistr) (2025). Available at: <https://khmnu.edu.ua/wp-content/op/m/g15-ktshv-2025.pdf>
36. Poluda, S. N., Koval, T. V., Boksha, N. I. (2016). Tekhnolohiya shveinoho vyrobnytstva ta osnastka. Mukachevo: MDU, 93.
37. Tran, K. P. (2022). Machine Learning and Probabilistic Graphical Models for Decision Support Systems. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003189886>
38. He, Z., Tran, K.-P., Thomassey, S., Zeng, X., Xu, J., Yi, C. (2021). A deep reinforcement learning based multi-criteria decision support system for optimizing textile chemical process. *Computers in Industry*, 125, 103373. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103373>
39. Di Domenico, A. (2023). Entanglement, CPT, and Neutral Kaons. *CPT and Lorentz Symmetry*, 74–78. https://doi.org/10.1142/9789811275388_0016

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.339913

IMPROVING THE CONDUCTIVE PROPERTIES OF PRINTED ELECTRONICS LAYERS BY TREATING PAPER SUBSTRATES WITH CORONA DISCHARGE BEFORE SCREEN PRINTING (p. 19–30)

Tetiana Kyrychok

National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9639-5486>

Tetiana Klymenko

National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7229-3995>

Bohdan Bardovskyy

National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-3202-4037>

Yevhen Avdiakov

National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-9600-3841>

This study's object is the conductive layers of printed electronics based on graphene plastisol ink, applied by screen printing on glossy and matte paper substrates, pre-modified by corona discharge. The problem addressed is low adhesion and instability of conductive

layers on paper substrates because of their roughness, porosity, and hydrophilicity.

It was found that corona discharge treatment reduces the specific resistance of conductive tracks on matte paper by 25–30% compared to untreated samples; on glossy paper – by 8–12%. The best results were obtained at a power of 3000 W: for matte paper, the resistance of 1 mm wide tracks decreased from 1447.1 Ohm to 1035.6 Ohm, and for 5 mm tracks – from 184.0 Ohm to 161.1 Ohm. After testing, the increase in resistance in the M3000 samples averaged 2–5%, while in untreated counterparts it was up to 46%.

Interpretation of the results revealed that the increase in surface energy and micro-roughness after corona treatment contributes to better wetting and fixation of graphene ink, the formation of a denser conductive layer, and a reduction in contact defects. A distinctive feature is the confirmed stability of electrical characteristics after thermal cycles and a decrease in the proportion of complete failures in pre-treated glossy paper samples. Additionally, a reduction in measurement scatter and improved print reproducibility for narrow tracks (1–2 mm) on matte paper after 3000 W corona treatment was noted.

The practical significance of the results is the possibility of using corona discharge treatment in the production of flexible printed electronics on paper media, especially for miniature elements with high requirements for conductivity and wear resistance. The method is effective in mass roll-to-roll (R2R) production, compatible with thin substrates, and does not require complex integration into the technological process.

Keywords: printed electronics, flexible electronics on paper, graphene conductive layers, wear resistance.

References

- Khan, Y., Thielens, A., Muin, S., Ting, J., Baumbauer, C., Arias, A. C. (2019). A New Frontier of Printed Electronics: Flexible Hybrid Electronics. *Advanced Materials*, 32 (15). <https://doi.org/10.1002/adma.201905279>
- Jansson, E., Lyytikäinen, J., Tanninen, P., Eiroma, K., Leminen, V., Immonen, K., Hakola, L. (2022). Suitability of Paper-Based Substrates for Printed Electronics. *Materials*, 15 (3), 957. <https://doi.org/10.3390/ma15030957>
- Cen-Puc, M., Schander, A., Vargas Gleason, M. G., Lang, W. (2021). An Assessment of Surface Treatments for Adhesion of Polyimide Thin Films. *Polymers*, 13 (12), 1955. <https://doi.org/10.3390/polym13121955>
- Bouhamed, A., Kia, A. M., Naifar, S., Dzhagan, V., Müller, C., Zahn, D. R. T. et al. (2017). Tuning the adhesion between polyimide substrate and MWCNTs/epoxy nanocomposite by surface treatment. *Applied Surface Science*, 422, 420–429. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2017.05.177>
- Corona Surface Treatment. Available at: <https://www.bwconverting.com/brand/brand-category/baldwin/corona-surface-treatment>
- Markgraf, D. A. Corona Treatment: An Overview. Enercon Industries. Available at: <https://www.enerconind.com/web-treating/wp-content/uploads/sites/3/2023/10/Enercon-corona-treating-overview.pdf>
- Khan, S., Lorenzelli, L., Dahiya, R. S. (2015). Technologies for Printing Sensors and Electronics Over Large Flexible Substrates: A Review. *IEEE Sensors Journal*, 15 (6), 3164–3185. <https://doi.org/10.1109/jsen.2014.2375203>
- Kyrychok, T., Bardovskiy, B. (2023). Classification of Printing Methods and Printed Electronics Materials. *Technology and Technique of Typography (Tekhnolohiia I Tekhnika Drukarstva)*, 4 (82), 22–40. [https://doi.org/10.20535/2077-7264.4\(82\).2023.291596](https://doi.org/10.20535/2077-7264.4(82).2023.291596)
- Huang, Q., Zhu, Y. (2019). Printing Conductive Nanomaterials for Flexible and Stretchable Electronics: A Review of Materials, Processes, and Applications. *Advanced Materials Technologies*, 4 (5). <https://doi.org/10.1002/admt.201800546>
- Kyrychok, T., Bardovskiy, B., Avdiakov, Y., Dusheiko, M. (2024). Effect of Paper Substrate Pretreatment by Corona Discharge on the Conductivity of Metal Electrodes for Printed Electronics Deposited by Magnetron Sputtering. *Technology and Technique of Typography (Tekhnolohiia I Tekhnika Drukarstva)*, 3 (85), 110–124. [https://doi.org/10.20535/2077-7264.3\(85\).2024.319104](https://doi.org/10.20535/2077-7264.3(85).2024.319104)
- Moric, M., Majnaric, I., Barišic, M. (2020). Effect Of Corona Power On The Cmy Reproduction Quality With Electroink Printed On Fine Art Paper. *Cellulose Chemistry and Technology*, 54 (1-2), 103–111. <https://doi.org/10.35812/cellulosechemtechnol.2020.54.12>
- Schuman, T. (2023). Corona Discharge Treatment for Surface Modification and Adhesion Improvement. *Progress in Adhesion and Adhesives*, 203–223. <https://doi.org/10.1002/9781394198375.ch5>
- Hyun, W. J., Secor, E. B., Hersam, M. C., Frisbie, C. D., Francis, L. F. (2014). High-Resolution Patterning of Graphene by Screen Printing with a Silicon Stencil for Highly Flexible Printed Electronics. *Advanced Materials*, 27 (1), 109–115. <https://doi.org/10.1002/adma.201404133>
- Arapov, K., Rubingh, E., Abbel, R., Laven, J., de With, G., Friedrich, H. (2015). Conductive Screen Printing Inks by Gelation of Graphene Dispersions. *Advanced Functional Materials*, 26 (4), 586–593. <https://doi.org/10.1002/adfm.201504030>
- Li, D., Lai, W., Zhang, Y., Huang, W. (2018). Printable Transparent Conductive Films for Flexible Electronics. *Advanced Materials*, 30 (10). <https://doi.org/10.1002/adma.201704738>
- Fu, Q., Chen, Y., Sorieul, M. (2020). Wood-Based Flexible Electronics. *ACS Nano*, 14 (3), 3528–3538. <https://doi.org/10.1021/acsnano.9b09817>
- Singh, R., Singh, E., Nalwa, H. S. (2017). Inkjet printed nanomaterial based flexible radio frequency identification (RFID) tag sensors for the internet of nano things. *RSC Adv*, 7 (77), 48597–48630. <https://doi.org/10.1039/c7ra07191d>
- Tortorich, R., Shamkhalichenar, H., Choi, J.-W. (2018). Inkjet-Printed and Paper-Based Electrochemical Sensors. *Applied Sciences*, 8 (2), 288. <https://doi.org/10.3390/app8020288>
- UGENT Conductive Silkscreen Ink UGDC033SSCDV – High Conductivity Ink for ABS, PC, PET & More – 1kg Pack. Available at: <https://www.ugenttech.com/products/ugent-conductive-silkscreen-ink-ugdc033sscdv-high-conductivity-ink-for-abs-pc-pet-more-1kg-pack>
- ToupView: Camera control, imaging software for microscope cameras. ToupTek Photonics. Available at: <https://www.touptekphotonics.com/>
- MarSurf PS 10. Art. no. 6910230. Available at: <https://metrology.mahr.com/en-int/products/article/6910230-mobiles-rauheitsmessgeraet-marsurf-ps-10/>
- Mykroskop Sigeta Biogenic Lite 40x-1000x LED Bino. Available at: <https://profoptica.com.ua/mikroskop-sigeta-biogenic-lite-40x-1000x-led-bino/>
- Multymetr tsyfrovyi Dnipro-M SM600. DNIPRO-M. Available at: https://dnipro-m.ua/tovar/multimetr-czifrovoj-sm600/?campaignid=17724767207&3Badgroupid=&3Btargetid=&3Bdid=&3Bnetwork=x&3Bkeyword=&3Bgad_source=1&3Bgclid=CjwKCAjwmaO4BhAhEiwA5p4YLjJuyI-8rAyp9ARB0lRRy0yDs6D8qoQ7cz0SPiLsmP3KFEL4_5VBPxoCb-ZgQAvD_BwE

24. MC71 Mini Subzero (64 L) climatic heatandcold chamber: -80°C to $+100^{\circ}\text{C}$, $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ stability. Available at: <https://www.espec.co.jp/products/qa/qa09/03cfc.html/>
25. Kyrychok, T., Shevchuk, A., Nesterenko, V., Kyrychok, P. (2013). Banknote Paper Deterioration Factors: Circulation Simulator Method. *BioResources*, 9 (1). <https://doi.org/10.15376/biores.9.1.710-724>
26. Kyrychok, T. Yu. (2014). An Analysis of the Precision of Indicators of the General Deterioration of Banknotes. *Measurement Techniques*, 57 (2), 166–171. <https://doi.org/10.1007/s11018-014-0424-1>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.340835

IDENTIFYING A MECHANISM FOR THE GRIPPING ABILITY OF ROLLS AND ROLLING AT A STABILITY LIMIT UNDER ASYMMETRIC LOADING (p. 31–54)

Valeriy Chigirinsky

Rudny Industrial Institute, Rudny, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-6594-5806>

Abdrakhman Naizabekov

Rudny Industrial Institute, Rudny, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8517-3482>

Sergey Lezhnev

Rudny Industrial Institute, Rudny, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1737-9825>

Olena Naumenko

Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9532-1493>

Sergey Kuzmin

Rudny Industrial Institute, Rudny, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1934-9408>

Sergey Melentyev

Rudny Industrial Institute, Rudny, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-3221-0131>

This study's object is the stressed state of the plastic deformation site under conditions of load asymmetry when metal is gripped by rolls, under the determining modes of process stability. The task addressed is the implementation of shape change at the rolling process stability threshold related to a decreased force load under the increased strain impact.

A physical and mathematical model of a flat rolling theory problem has been built under conditions of multi-parameter factors affecting the gripping capacity of rolls and the stability of rolling process.

The plasticity theory problem was solved analytically using the method of argument of a function of a complex variable. The solution to the plane problem is shown, using the asymmetry of the process, the counter-directed flow of metal. The nonlinearity of the plasticity theory problem was taken into account.

Based on the mathematical model, a new force factor was identified and investigated: the force stretching factor from the lagging zone. A new single-zone deformation mode with minimum process stability was identified. The process was investigated under conditions of multiparameter influence on rolls gripping ability and its stability. The zones of reachability were established for a deformation focus shape factor within the range of 5.00...15.00. The mode of partial suppression of the zeroing factors of the metal stressed state was investigated under conditions of multi-parameter influence on the gripping ability of the rolls and the stability of the process. Stability

indicators of transient modes were determined: at $\alpha = 0.077$, the ratio $f/\alpha = 1.10...1.95$; at $\alpha = 0.129$, the ratio $f/\alpha = 1.19...1.95$; at $\alpha = 0.168$, the ratio $f/\alpha = 1.28...1.95$.

This study's results make it possible to solve technological problem related to the development of rolling schemes when the gripping force of friction and the pushing force of normal pressure arise during the forming process.

Keywords: loading asymmetry, counter-directed metal flow, loss of stability, stressed-strained state.

References

- Chigirinsky, V., Naizabekov, A., Lezhnev, S., Naumenko, O., Kuzmin, S. (2024). Determining the patterns of asymmetric interaction of plastic medium with counter-directional metal flow. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (7 (127)), 66–82. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.293842>
- Chigirinsky, V., Naizabekov, A., Lezhnev, S., Kuzmin, S., Panin, E., Tolokushkin, A. et al. (2024). Effect of the limiting deformation zone under conditions of asymmetric loading during rolling of medium thickness strips. *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*, 59 (4), 993–1002. <https://doi.org/10.59957/jctm.v59.i4.2024.30>
- Chigirinsky, V. V. (1999). The study of stressed and deformed metal state under conditions of nonuniform plastic medium flow. *Metallurgija*, 38 (1), 31–37.
- Chigirinsky, V., Putnoki, A. (2017). Development of a dynamic model of transients in mechanical systems using argument-functions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (7 (87)), 11–22. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.101282>
- Chigirinsky, V., Naumenko, O. (2021). Advancing a generalized method for solving problems of continuum mechanics as applied to the Cartesian coordinate system. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (7 (113)), 14–24. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.241287>
- Chigirinsky, V., Naizabekov, A., Lezhnev, S. (2021). Closed problem of plasticity theory. *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*, 56 (4), 867–876. Available at: https://journal.uctm.edu/node/j2021-4/28_21-32p867-876.pdf
- Chigirinsky, V., Naizabekov, A., Lezhnev, S., Kuzmin, S., Naumenko, O. (2022). Solving applied problems of elasticity theory in geomechanics using the method of argument functions of a complex variable. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (7 (119)), 105–113. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.265673>
- Vasylyev, L., Malich, M., Vasylyev, D., Katan, V., Rizo, Z. (2023). Improving a technique to calculate strength of cylindrical rock samples in terms of uniaxial compression. *Mining of Mineral Deposits*, 17 (1), 43–50. <https://doi.org/10.33271/mining17.01.043>
- Drahobetskyi, V. V., Shapoval, O. O., Shchepetov, V. V., Zahirniak, M. V., Lotous, V. V., Lehotkin, H. I. et al. (2017). Kerovani efekty plastychnoho deformuvannia zahotovok vyrobiv dlia metalurhiyi ta transportu. *Kharkiv: "Drukarnia Madryd"*, 244. Available at: https://www.kdu.edu.ua/new/PHD_vid/KEPDZVMT.pdf
- Dhinwal, S. S., Toth, L. S., Lapovok, R., Hodgson, P. D. (2019). Tailoring One-Pass Asymmetric Rolling of Extra Low Carbon Steel for Shear Texture and Recrystallization. *Materials*, 12 (12), 1935. <https://doi.org/10.3390/ma12121935>
- Banerjee, A., Wylie, A., Da Silva, L. (2022). Near-Net Shape Manufacture of Ultra-High Strength Maraging Steel Using Flow Forming and Inertia Friction Welding: Experimental and Microstructural

- Characterization. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 145 (2). <https://doi.org/10.1115/1.4055519>
12. Dhinwal, S. S., Toth, L. S., Hodgson, P. D., Haldar, A. (2018). Effects of Processing Conditions on Texture and Microstructure Evolution in Extra-Low Carbon Steel during Multi-Pass Asymmetric Rolling. *Materials*, 11 (8), 1327. <https://doi.org/10.3390/ma11081327>
 13. Nadai, A. (1954). *Theory of low and fracture of solids*. IL Publ., New York.
 14. Timoshenko, S. P., Goodier, J. N. (1952). *Theory of Elasticity*. Timoshenko and Goodier. McGraw-Hill. New York 1951. 493 pp. 270 diagrams. 81s. net. (New Edition.). *The Journal of the Royal Aeronautical Society*, 56 (496), 308–308. <https://doi.org/10.1017/s036839310012471x>
 15. Dorofeyev, O. A., Kovtun, V. V. (2019). Estimation of the Stress-Strain State of a Discrete Medium by a Plastic Flow Model. *PROBLEMS OF TRIBOLOGY*, 93 (3), 29–38. <https://doi.org/10.31891/2079-1372-2019-93-3-29-38>
 16. El-Naaman, S. A., Nielsen, K. L., Niordson, C. F. (2019). An investigation of back stress formulations under cyclic loading. *Mechanics of Materials*, 130, 76–87. <https://doi.org/10.1016/j.mechmat.2019.01.005>
 17. Lopez-Crespo, P., Camas, D., Antunes, F. V., Yates, J. R. (2018). A study of the evolution of crack tip plasticity along a crack front. *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, 98, 59–66. <https://doi.org/10.1016/j.tafmec.2018.09.012>
 18. Li, J., Zhang, Z., Li, C. (2017). Elastic-plastic stress-strain calculation at notch root under monotonic, uniaxial and multiaxial loadings. *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, 92, 33–46. <https://doi.org/10.1016/j.tafmec.2017.05.005>
 19. Pathak, H. (2017). Three-dimensional quasi-static fatigue crack growth analysis in functionally graded materials (FGMs) using coupled FE-XEFG approach. *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, 92, 59–75. <https://doi.org/10.1016/j.tafmec.2017.05.010>
 20. Correia, J. A. F. O., Huffman, P. J., De Jesus, A. M. P., Cicero, S., Fernández-Canteli, A., Berto, F., Glinka, G. (2017). Unified two-stage fatigue methodology based on a probabilistic damage model applied to structural details. *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, 92, 252–265. <https://doi.org/10.1016/j.tafmec.2017.09.004>
 21. Sneddon, I. N., Berry, D. S. (1958). *The Classical Theory of Elasticity. Elasticity and Plasticity / Elastizität Und Plastizität*, 1–126. https://doi.org/10.1007/978-3-642-45887-3_1
 22. Hussein, N. S. (2014). Solution of a Problem Linear Plane Elasticity with Mixed Boundary Conditions by the Method of Boundary Integrals. *Mathematical Problems in Engineering*, 2014 (1). <https://doi.org/10.1155/2014/323178>
 23. Yu, T., Xue, P. (2022). *Introduction to Engineering Plasticity*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/c2021-0-00546-0>
 24. Muñoz, J. A., Avalos, M., Schell, N., Brokmeier, H. G., Bolmaro, R. E. (2021). Comparison of a low carbon steel processed by Cold Rolling (CR) and Asymmetrical Rolling (ASR): Heterogeneity in strain path, texture, microstructure and mechanical properties. *Journal of Manufacturing Processes*, 64, 557–575. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2021.02.017>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.341458

DETERMINING THE RATIONAL ENERGY LEVEL FOR PROCESSING ENVIRONMENTS OF DIFFERENT STRUCTURES (p. 55–65)

Ivan Nazarenko

Kyiv National University
of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1888-3687>

Oleg Dedov

Kyiv National University
of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5006-772X>

Iryna Bernyk

National University of Life Resources
and Environmental Management of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1367-3058>

Andrii Zapryvoda

Kyiv National University
of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9171-9325>

Mykola Ruchynskiy

Kyiv National University
of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9362-292X>

Andrii Bondarenko

Odesa State Academy of Civil Engineering
and Architecture, Odesa, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4594-6399>

Vibration processing underlies many technological processes in various sectors of the national economy. The object of the study is a single common wave process of motion of the system, and the subject is the parameters and modes that provide a rational level of energy. At the same time, attention is focused on the use of energy-saving technologies. Most processes use energy-consuming technologies and equipment, the calculations of which are based on the application of formulas for determining energy on discrete and empirical dependencies. Such approaches do not reveal the essence of the material processing processes and cannot accurately estimate energy costs. This problem is solved in the work by determining the parameters and modes based on the conditions for implementing the synergy of the "vibration exciter – processing medium" system. This is the peculiarity and difference of the obtained research results. Discrete-continuous models have been developed taking into account the rheological properties of the media, and analytical solutions and experimental studies have allowed to determine the parameters of low-frequency and high-frequency actions on the processing medium. The work uses a method by which the combination of frequency and amplitude of vibrations determines the intensity of the vibration effect on the processing environment. The resistance of the technological environment to the movement of the working body of the vibration exciter, which consisted of inertial, elastic and dissipative parts, was determined. The study determined the qualitative and quantitative picture of the change in energy dissipation in specific materials and environments under different laws of their loading and processing. The energy level for processing technological environments in low-frequency and high-frequency modes was determined. The research methodology and analytical dependence of energy determination can be used for various environments under load.

Keywords: vibration exciter, environment, discrete-continuous model, energy dissipation, amplitude of vibrations, frequency.

References

1. Sotoudeh, Z. (2019). Entropy and Mixing Entropy for Weakly Non-linear Mechanical Vibrating Systems. *Entropy*, 21 (5), 536. <https://doi.org/10.3390/e21050536>

2. Bissembayev, K., Jomartov, A., Tuleshov, A., Dikambay, T. (2019). Analysis of the Oscillating Motion of a Solid Body on Vibrating Bearers. *Machines*, 7 (3), 58. <https://doi.org/10.3390/machines7030058>
3. Hayashibe, M., Shimoda, S. (2022). Synergetic synchronized oscillation by distributed neural integrators to induce dynamic equilibrium in energy dissipation systems. *Scientific Reports*, 12 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-21261-w>
4. Sun, Y., Vizzaccaro, A., Yuan, J., Salles, L. (2020). An extended energy balance method for resonance prediction in forced response of systems with non-conservative nonlinearities using damped nonlinear normal mode. *Nonlinear Dynamics*, 103 (4), 3315–3333. <https://doi.org/10.1007/s11071-020-05793-2>
5. Nazarenko, I., Gaidaichuk, V., Dedov, O., Diachenko, O. (2018). Determination of stresses and strains in the shaping structure under spatial load. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (7 (96)), 13–18. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.147195>
6. Son, K. J. (2025). Mathematical Modeling of High-Energy Shaker Mill Process with Lumped Parameter Approach for One-Dimensional Oscillatory Ball Motion with Collisional Heat Generation. *Mathematics*, 13 (3), 446. <https://doi.org/10.3390/math13030446>
7. Liu, Z., Zhang, L., Zhao, L., Wu, Z., Guo, B. (2022). A Damage Model of Concrete including Hysteretic Effect under Cyclic Loading. *Materials*, 15 (14), 5062. <https://doi.org/10.3390/ma15145062>
8. Cleante, V. G., Brennan, M. J., Gatti, G., Thompson, D. J. (2017). On the spectrum of rail vibration generated by a passing train. *Procedia Engineering*, 199, 2657–2662. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.09.532>
9. AL-Shudeifat, M. A., Nasar, R. A. (2025). On rapid vibration suppression by nonlinear energy sink during first half cycle of oscillation. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 142, 108534. <https://doi.org/10.1016/j.cnsns.2024.108534>
10. Nazarenko, I., Gavryukov, O., Klyon, A., Ruchynsky, N. (2018). Determination of the optimal parameters of a tubular belt conveyor depending on such an economical. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (1 (93)), 34–42. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.131552>
11. Luhovskiy, O., Bernyk, I., Gryshko, I., Abdulina, D., Zilinskyi, A. (2020). Mobile Equipment for Ultrasonic Cavitation Inactivation of Microorganisms in the Liquid Environment. *Advances in Hydraulic and Pneumatic Drives and Control 2020*, 272–281. https://doi.org/10.1007/978-3-030-59509-8_24
12. Nazarenko, I., Bernyk, I., Dedov, O., Rogovskii, I., Ruchynskiy, M., Pereginets, I., Titova, L. (2021). Research of technical systems of processes of mixing materials. *Dynamic Processes in Technological Technical Systems*, 57–76. <https://doi.org/10.15587/978-617-7319-49-7.ch4>
13. Bernyk, I., Luhovskiy, O., Wojcik, W., Shedreyeva, I., Karnakova, G. (2019). Theoretical investigations of the interaction of acoustic apparatus with technological environment working process. *Przegląd Elektrotechniczny*, 1 (4), 32–37. <https://doi.org/10.15199/48.2019.04.06>
14. Kobus, Z., Krzywicka, M., Pecyna, A., Buczaj, A. (2021). Process Efficiency and Energy Consumption during the Ultrasound-Assisted Extraction of Bioactive Substances from Hawthorn Berries. *Energies*, 14 (22), 7638. <https://doi.org/10.3390/en14227638>
15. Teoh, Y. H., Liew, S. Y., How, H. G., Yaqoob, H., Idroas, M. Y., Jamil, M. A. et al. (2025). Investigating sono-electrolysis for hydrogen generation and energy optimization. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 164, 108980. <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2025.108980>
16. Feng, J., Yan, T., Hou, Z. (2024). Numerical Simulation Study of Factors Influencing Ultrasonic Cavitation Bubble Evolution on Rock Surfaces during Ultrasonic-Assisted Rock Breaking. *Water*, 16 (16), 2234. <https://doi.org/10.3390/w16162234>
17. Aliev, T., Korolev, I., Burdulenko, O., Alchinova, E., Subbota, A., Yasnov, M., Nosonovsky, M., Skorb, E. V. (2024). Automatic image processing of cavitation bubbles to analyze the properties of petroleum products. *Digital Discovery*, 3 (6), 1101–1107. <https://doi.org/10.1039/d4dd00003j>
18. Langley, R. S., Hawes, D. H., Butlin, T., Ishii, Y. (2019). Response variance prediction using transient statistical energy analysis. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 145 (2), 1088–1099. <https://doi.org/10.1121/1.5090501>
19. Morton, J. A., Khavari, M., Priyadarshi, A., Kaur, A., Grobert, N., Mi, J. et al. (2023). Dual frequency ultrasonic cavitation in various liquids: High-speed imaging and acoustic pressure measurements. *Physics of Fluids*, 35 (1). <https://doi.org/10.1063/5.0136469>
20. Zhu, X., Das, R. S., Bhavya, M. L., Garcia-Vaquero, M., Tiwari, B. K. (2024). Acoustic cavitation for agri-food applications: Mechanism of action, design of new systems, challenges and strategies for scale-up. *Ultrasonics Sonochemistry*, 105, 106850. <https://doi.org/10.1016/j.ulsonch.2024.106850>
21. Nazarenko, I., Bernyk, I. (2021). Research of the processes of acoustic cavitation technology for processing dispersed media. *Dynamic Processes in Technological Technical Systems*, 94–109. <https://doi.org/10.15587/978-617-7319-49-7.ch6>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.338832

IDENTIFYING THE ENERGY CONSUMPTION TO MATERIAL REMOVAL RATE IN ABRASIVE CUTTING PROCESS USING THE THIN GRINDING WHEEL (p. 66–75)

Eko Yudiyanto

State Polytechnic of Malang, Malang, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7675-3629>

Satworo Adiwidodo

State Polytechnic of Malang, Malang, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4774-6438>

Sugeng Hadi Susilo

State Polytechnic of Malang, Malang, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3077-2039>

Bayu Pranoto

State Polytechnic of Malang, Malang, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3070-3690>

The object of this study is the abrasive cutting process using thin grinding wheels, which is applied for cutting materials with various mechanical properties. The problem to be solved is mapping the energy consumption characteristics in this process through the control of cutting parameters such as grinding wheel thickness and feed rate. An experiment was conducted using grinding wheels with 1.2, 1.6, 2.0, and 3.0 mm for cutting metals. Various feed rates were used to cut Al, ST37, and cast iron, which are ductile, ductile-hard, and brittle materials. The results of the experiment show an inverse exponential relationship between the feed rate and specific energy. The 1.2 mm grinding wheel consumes up to 10% less power than the 3.0 mm wheel at low feed rates. The mapping of these characteristics enables the selection of recommended parameters. Achieving stability during the cutting

process of ductile materials, the utilization of a 1.6 mm grinding wheel operating at a feed rate of 0.166 mm/s. The rigidity of the wheel determines the stability of the rotation, which depends on the thickness of the grinding wheel. The thickness of the grinding wheel determines the material removal rate of the abrasive process. Ductile-hard materials, such as ST37, require more energy because the abrasive particles must be able to break down the properties of the material to erode its surface. Ductile materials tend to cause high friction and generate heat, melting the material. The space between the abrasive particles can be filled with liquid material, causing BUE to cover the cutting edge of the abrasive particles. The application of the outcome is aimed at the machining, as a scientific basis for energy control at the manufacturing process.

Keywords: energy consumption, abrasive cutting, cut-off grinding, energy of cutting, material removal rate, thin grinding wheel.

References

- World Energy Outlook 2024. IEA. Available at: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/140a0470-5b90-4922-a0e9-838b3ac6918c/World-EnergyOutlook2024.pdf>
- Lesinskiy, V., Yemelyanov, O., Zarytska, O., Petrushka, T., Myroshchenko, N. (2022). Designing a toolset for assessing the organizational and technological inertia of energy consumption processes at enterprises. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (13 (120)), 29–40. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.267231>
- Chen, X., Li, C., Tang, Y., Li, L., Li, H. (2021). Energy efficient cutting parameter optimization. *Frontiers of Mechanical Engineering*, 16 (2), 221–248. <https://doi.org/10.1007/s11465-020-0627-x>
- Triebe, M. J., Mendis, G. P., Zhao, F., Sutherland, J. W. (2018). Understanding Energy Consumption in a Machine Tool through Energy Mapping. *Procedia CIRP*, 69, 259–264. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.11.041>
- Saputra, L. D., Yudiyanto, E. (2025). Toolpath Motion Strategy and Feed Rate in CNC Milling on Energy Consumption of Machining Process. *Journal of Mechanical Engineering Science and Technology (JMEST)*, 9 (1), 114. <https://doi.org/10.17977/um016v9i12025p114>
- He, Y., Liu, F., Wu, T., Zhong, F.-P., Peng, B. (2011). Analysis and estimation of energy consumption for numerical control machining. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 226 (2), 255–266. <https://doi.org/10.1177/0954405411417673>
- Zare Banadkouki, M. R. (2023). Selection of strategies to improve energy efficiency in industry: A hybrid approach using entropy weight method and fuzzy TOPSIS. *Energy*, 279, 128070. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.128070>
- Hacksteiner, M., Peherstorfer, H., Bleicher, F. (2018). Energy efficiency of state-of-the-art grinding processes. *Procedia Manufacturing*, 21, 717–724. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.02.176>
- Wang, M., Song, Y., Wang, P., Chen, Y., Sun, T. (2022). Grinding/Cutting Technology and Equipment of Multi-scale Casting Parts. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 35 (1). <https://doi.org/10.1186/s10033-022-00780-7>
- Awan, M. R., Rojas, H. A. G., Benavides, J. I. P., Hameed, S. (2021). Experimental technique to analyze the influence of cutting conditions on specific energy consumption during abrasive metal cutting with thin discs. *Advances in Manufacturing*, 10 (2), 260–271. <https://doi.org/10.1007/s40436-021-00361-2>
- Awan, M. R., González Rojas, H. A., Hameed, S., Riaz, F., Hamid, S., Hussain, A. (2022). Machine Learning-Based Prediction of Specific Energy Consumption for Cut-Off Grinding. *Sensors*, 22 (19), 7152. <https://doi.org/10.3390/s22197152>
- Rahimifard, S., Seow, Y., Childs, T. (2010). Minimising Embodied Product Energy to support energy efficient manufacturing. *CIRP Annals*, 59 (1), 25–28. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2010.03.048>
- Yuan, C., Zhai, Q., Dornfeld, D. (2012). A three dimensional system approach for environmentally sustainable manufacturing. *CIRP Annals*, 61 (1), 39–42. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2012.03.105>
- Pawanr, S., Gupta, K. (2024). A Review on Recent Advances in the Energy Efficiency of Machining Processes for Sustainability. *Energies*, 17 (15), 3659. <https://doi.org/10.3390/en17153659>
- Awan, M. R., González Rojas, H. A., Perat Benavides, J. I., Hameed, S., Hussain, A., Sánchez Egea, A. J. (2022). Specific energy modeling of abrasive cut off operation based on sliding, plowing, and cutting. *Journal of Materials Research and Technology*, 18, 3302–3310. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.03.185>
- Kryukov, S. A., Kryukova, A. S. (2017). Determining the Parameters of Grinding Wheels Working Surface Profile. *Procedia Engineering*, 206, 204–209. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.461>
- Wang, Y.-L., Zhang, Y.-B., Cui, X., Liang, X.-L., Li, R.-Z., Wang, R.-X. et al. (2024). High-speed grinding: from mechanism to machine tool. *Advances in Manufacturing*, 13 (1), 105–154. <https://doi.org/10.1007/s40436-024-00508-x>
- Gershikov, I. V. (2012). The general approach to the analysis of the temperature grinding. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (1 (59)), 19–22. Available at: <https://journals.urau.ua/eejet/article/view/5865>
- Pombo, I., Sánchez, J. A., Martín, E., Godino, L., Álvarez, J. (2024). Accurate Measurement of Temperatures in Industrial Grinding Operations with Steep Gradients. *Sensors*, 24 (6), 1741. <https://doi.org/10.3390/s24061741>
- Jedamski, R., Kuhlmann, G., Röbler, M., Karpuschewski, B., Dix, M., Epp, J. (2024). Towards developing a control of grinding processes using a combination of grinding power evaluation and Barkhausen noise analysis. *Production Engineering*, 18 (2), 339–351. <https://doi.org/10.1007/s11740-023-01247-x>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.341455

IMPROVING THE PROCESS CHARACTERISTICS OF CUTTING FIBROUS COMPOSITE MATERIALS (p. 76–84)

Yrij Sychov

Education and Research Institute "Ukrainian Engineering and Pedagogical Academy" of V. N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6576-8083>

Oleksandr Bryniuk

Education and Research Institute "Ukrainian Engineering and Pedagogical Academy" of V. N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-1546-0922>

Kyrylo Varodov

Education and Research Institute "Ukrainian Engineering and Pedagogical Academy" of V. N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-8621-6337>

Yaroslav Grehaniuk

Education and Research Institute "Ukrainian Engineering and Pedagogical Academy" of V. N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-0070-3396>

This study explores the process of cutting fibrous polymer composite materials. The main reason for limiting the use of polymer composites is the deterioration of their performance properties after mechanical processing because of destruction of the surface layer.

It is high time substantiated recommendations for the mechanical processing of fibrous polymer composites (FPCs) are provided. This could reduce the depth of destruction of an FPC surface layer to 20–50 μm and expand the area of functional application of these materials.

An experimental study on the influence of cutting modes and geometric parameters of the cutting part of the tools on the technological components of the cutting force has been conducted, which made it possible to establish that the greatest influence on the cutting force when processing fibrous composites is exerted by the values of the geometric characteristics of the tool. Reducing the energy consumption for cutting to the level of 1.5 $\text{kN} \cdot \text{m/s}$ helps minimize the influence of mechanical, thermal, and chemical factors on the destruction of the composite.

FPCs have high elastic properties, which determines the features in the cutting process. As this leads to increased values of cutting forces on the rear surface, it is recommended to carry out processing by a sharpened tool at large values of the front γ and rear α angles of the blade.

Determining the cutting force makes it possible to correctly assign the geometric parameters of the tool and estimate the processing error. The specified machining modes make it possible to reduce the depth of the defective layer by 10 times ($RZ \leq 20 \text{ mm}$, $KB \leq 5\%$, $N \leq 1012 \text{ spin/gr}$, $M \leq 50 \mu\text{m}$) and increase the stability of the cutting tool by two times.

The results could make it possible to improve the process of shaping articles from polymeric materials during production.

Keywords: cutting characteristics, composite materials, machining, elastic properties, composite deformation.

References

- Sychev, Yu., Malitskiy, I. (2020). Improving the process of cutting polymer composites. *Engineering*, 25, 62–69. <https://doi.org/10.32820/2079-1747-2020-25-62-69>
- Tomashevskiy, O., Balytska, N. (2023). Features of milling composites. Analytical reviewanalytical review. *Technical Engineering*, 1 (91), 92–100. [https://doi.org/10.26642/ten-2023-1\(91\)-92-100](https://doi.org/10.26642/ten-2023-1(91)-92-100)
- Liu, S. Q., Chen, Y., Fu, Y. C., Hu, A. D. (2016). Study on the Cutting Force and Machined Surface Quality of Milling AFRP. *Materials Science Forum*, 836-837, 155–160. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.836-837.155>
- Byelikov, S., Volchok, I., Mityaev, A., Pleskach, V., Savchenko, V. (2017). Composite materials in aircraft industry (review). *Novi materialy i tekhnolohiyi v metalurhiyi ta mashynobuduvanni*, 2, 32–40. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nmt_2017_2_8
- Khavin, G. L., Hou, Z. (2022). The orientation angle of reinforcing elements influence on tool wear intensity in processing polymer composites. *Bulletin of the National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute" Series: Techniques in a Machine Industry*, 1, 59–65. [https://doi.org/10.20998/2079-x.2022.1\(5\).08](https://doi.org/10.20998/2079-x.2022.1(5).08)
- Kolesnyk, V., Lysenko, B., Neshta, A., Zabara, M. (2022). Investigation of cutting parameters influence the roughness when drilling CFRP/Ti alloy stacks. *Advances in Mechanical Engineering and Transport*, 1 (18), 110–123. <https://doi.org/10.36910/automash.v1i18.767>
- Xiong, Y., Liu, C., Wang, W., Jiang, R., Huang, B., Wang, D., Zhang, S. (2023). Assessment of machined surface for SiCf/SiC ceramic matrix composite during ultrasonic vibration-assisted milling-grinding. *Ceramics International*, 49 (3), 5345–5356. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2022.10.058>
- Xiong, Y., Wang, W., Jiang, R., Huang, B., Liu, C. (2022). Feasibility and tool performance of ultrasonic vibration-assisted milling-grinding SiCf/SiC ceramic matrix composite. *Journal of Materials Research and Technology*, 19, 3018–3033. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.06.063>
- Yakut, N. (2023). Cutting tool selection for machining metal matrix composites. *Journal of Advances in Manufacturing Engineering*. <https://doi.org/10.14744/ytu.jame.2022.00008>
- Liao, Z., Abdelhafeez, A., Li, H., Yang, Y., Diaz, O. G., Axinte, D. (2019). State-of-the-art of surface integrity in machining of metal matrix composites. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 143, 63–91. <https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2019.05.006>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.341378

FORMATION OF A DESTRUCTIVE LAYER IN SPECIAL RUBBERS DEPENDING ON CO₂-LASER PROCESSING MODES (p. 85–93)

Dmitro Sidorov

National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0341-8205>

Denys Kozik

National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-0489-6598>

Iryna Kazak

National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9450-8312>

Tetiana Shylovykh

National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3542-5733>

Yurii Pribyliev

National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1941-3561>

Special rubbers proceeding by laser engraving is the investigation object. Rubber products quality improvement was solving by means of laser engraving, which allows to achieve a high level of details, to get a complex geometry and sustainable quality having a minimum of the tool worn out. Experimental measurements of destructive layer depth inside different samples of rubber in dependence on the modes of CO₂-laser processing were conducted. Rubber engraving proceeding by a wavelength of 10.6 μm CO₂-laser was considered in the pulse mode series to provide the cutting edge correct geometry keeping fixed conditions of beam movement speed and acceleration.

Concerted experimental results (rubbers AERO Laserrubber, OLIO Laserrubber, TEMPO Laserrubber, CLASSICO Laserrubber and ECO Laserrubber) revealed a sustainable increasing the depth of the destructive layer on average by (1.0 ... 1.2) μm every 5 W along with increasing of CO₂-laser power in the range of (30 ... 55) W.

Stabilization or slight fluctuations of the destructive layer depth were stated when power supplied exceeded of 60 W.

Obtained graphs show a high degree coincidence with analytical model and confirm the feasibility of laser engraving appliance exactly within the range of (35 ... 50) W to provide a precise and clean processing of high-quality rubber products.

Keywords: rubber, laser engraving, destructive layer depth, CO₂ laser power, quality improvement.

References

- Verhun, O., Oleksiienko, O. (2023). Effect of actual adhesive strength on determination of application conditions for sealing polymer materials. *Science and Construction*, 35 (1). <https://doi.org/10.33644/2313-6679-1-2023-5>
- Mitsyk, A. V. (2022). Mathematical simulation of the deformation of the part material surface layer during its finishing and grinding processing with metal balls in the vibration polishing operation. *Visnik of the Volodymyr Dahl East Ukrainian National University*, 2 (272), 46–51. <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2022-272-2-46-51>
- Dobrotvorskyi, S. S., Khavin, H. L., Basova, Ye. V., Aleksenko, B. O., Prykhodko, V. O. (2024). Shorstkist poverkhni pry lazerniy obrobtisi nerzhaviyuchoi stali. *Kharkiv: NTU "KhPI"*, 167. <https://doi.org/10.20998/978-617-05-0513-2>
- Mushtaq, R. T., Wang, Y., Rehman, M., Khan, A. M., Mia, M. (2020). State-Of-The-Art and Trends in CO₂ Laser Cutting of Polymeric Materials – A Review. *Materials*, 13 (17), 3839. <https://doi.org/10.3390/ma13173839>
- Kameyama, N., Yoshida, H., Fukagawa, H., Yamada, K., Fukuda, M. (2021). Thin-Film Processing of Polypropylene and Polystyrene Sheets by a Continuous Wave CO₂ Laser with the Cu Cooling Base. *Polymers*, 13 (9), 1448. <https://doi.org/10.3390/polym13091448>
- Kameyama, N., Yoshida, H. (2022). Thermal Effect on Thin-Film Formation of the Polymer Sheets by the CO₂ Laser with the Copper Base. *Polymers*, 14 (17), 3508. <https://doi.org/10.3390/polym14173508>
- Lieber, S. C., Varghese, A. P., Tarantino, R., Tafuni, A. (2023). Additive manufacturing for plastic extrusion die tooling: A numerical investigation. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 41, 401–412. <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2023.01.003>
- Schmidt, B., Rose, M., Zimmermann, M., Kästner, M. (2021). Analysis of process-induced damage in remote laser cut carbon fibre reinforced polymers. *Journal of Materials Processing Technology*, 295, 117162. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2021.117162>
- Karamimoghadam, M., Dezaki, M. L., Zolfagharian, A., Bodaghi, M. (2023). Influence of post-processing CO₂ laser cutting and FFF 3D printing parameters on the surface morphology of PLAs: Statistical modelling and RSM optimisation. *International Journal of Lightweight Materials and Manufacture*, 6 (2), 285–295. <https://doi.org/10.1016/j.ijlmm.2023.01.004>
- Munoz, A., Schmidt, J., Suffet, I. H. M., Tsai, C. S.-J. (2023). Characterization of Emissions from Carbon Dioxide Laser Cutting Acrylic Plastics. *ACS Chemical Health & Safety*, 30 (4), 182–192. <https://doi.org/10.1021/acs.chas.3c00013>
- Ham, S. S., Lee, H. (2020). Surface Characteristics of Polymers with Different Absorbance after UV Picosecond Pulsed Laser Processing Using Various Repetition Rates. *Polymers*, 12 (9), 2018. <https://doi.org/10.3390/polym12092018>
- Riveiro, A., Maçon, A. L. B., del Val, J., Comesaña, R., Pou, J. (2018). Laser Surface Texturing of Polymers for Biomedical Applications. *Frontiers in Physics*, 6. <https://doi.org/10.3389/fphy.2018.00016>
- Ruan, X., Wang, R., Luo, J., Yao, Y., Liu, T. (2018). Experimental and modeling study of CO₂ laser writing induced polyimide carbonization process. *Materials & Design*, 160, 1168–1177. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2018.10.050>
- Anjum, A., Azharuddin Ali, M., Shaikh, A. A., Akhtar, S. S. (2024). A numerical and experimental analysis of CO₂ laser micro-milling on PMMA sheet considering a multipass approach for microfluidic devices. *Optics & Laser Technology*, 176, 110860. <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2024.110860>
- Volova, T. G., Golubev, A. I., Nemtsev, I. V., Lukyanenko, A. V., Dudaev, A. E., Shishatskaya, E. I. (2021). Laser Processing of Polymer Films Fabricated from PHAs Differing in Their Monomer Composition. *Polymers*, 13 (10), 1553. <https://doi.org/10.3390/polym13101553>
- Ahmad Sobri, S., Chow, T. P., Tatt, T. K., Nordin, M. H., Hermawan, A., Mohamad Amini, M. H. et al. (2025). Optimization and Validation of CO₂ Laser-Machining Parameters for Wood–Plastic Composites (WPCs). *Polymers*, 17 (16), 2216. <https://doi.org/10.3390/polym17162216>
- Kashihara, K., Uto, Y., Nakajima, T. (2018). Rapid in situ synthesis of polymer-metal nanocomposite films in several seconds using a CO₂ laser. *Scientific Reports*, 8 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-018-33006-9>
- Chen, X., Hu, Z. (2018). Study aspect ratio of microchannel on different polymer substrates with CO₂ laser and hot bonding for microfluidic chip. *AIP Advances*, 8 (1). <https://doi.org/10.1063/1.5012772>
- Ravi-Kumar, S., Lies, B., Lyu, H., Qin, H. (2019). Laser Ablation of Polymers: A Review. *Procedia Manufacturing*, 34, 316–327. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.06.155>
- LaserBot-900. Available at: <https://bot-ua.com/shop/co2/laserbot-900/?v=d41d8cd98f00>
- LightBurn. Available at: <https://lightburnsoftware.com/>
- RUIDA RDWorks Software. Available at: <https://www.ruidacontroller.com/ruida-rdworks-software/>
- MT Pro Single/Multi-Channel Integrated Interferometer. Available at: <https://en.dimension-tech.com/productdetail/6.html>
- Classico. Laser rubber for text plate production, 60 Shore-A. Available at: <https://www.trodat.net/int/en/shop/product/Products-International/Production-Materials/Laser-Rubber/Classico>
- Pukhalska, H. V., Porvin, I. E. (2020). Lazerne markuvannia. *TYZH-DEN NAUKY-2020. Zaporizhzhia*, 21–22. Available at: https://zp.edu.ua/uploads/dept_s&r/2020/conf/4.1/TN_2020-MF.pdf
- Munirathinam, B., Lerch, L., Hüne, D., Lentz, L., Lenk, T., Görke, M. et al. (2022). Enhanced Performance of Laser-Structured Copper Electrodes Towards Electrocatalytic Hydrogenation of Furfural. *ChemElectroChem*, 9 (22). <https://doi.org/10.1002/celec.202200885>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.334186

DEVELOPMENT AND EXPERIMENTAL EVALUATION OF BIO-INSPIRED PILE SURFACE ASPERITIES FOR ENHANCED LOAD TRANSFER IN SANDY SOILS (p. 94–101)

Agata Iwan Candra

Universitas Brawijaya, Malang, East Java, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7657-6810>

As'ad Munawir

Universitas Brawijaya, Malang, East Java, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0015-8011>

Yulvi Zaika

Universitas Brawijaya, Malang, East Java, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0258-345X>

Eko Andi Suryo

Universitas Brawijaya, Malang, East Java, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-6668-4907>

In sandy soils, skin resistance efficiency is critical, as it governs load capacity, settlement, and foundation cost. This study investigates pile foundations with directional surface asperities embedded in uniform sand to clarify the limited knowledge of how asperity orientation (cranial vs. caudal), geometric ratio (L/H), and pile diameter affect axial load transfer. Experimental tests were conducted on steel piles with diameters of 10, 12, and 15.85 mm under smooth, cranial, and caudal conditions with L/H ratios of 20, 26.67, and 33.33. Axial compression tests following ASTM D1143-20 in controlled dry sand provided ultimate load and shaft resistance data, validated by one-way ANOVA. The results show that cranial asperities consistently outperformed other surfaces, with the Cr L/H 20 configuration on the 15.85 mm pile reaching 0.368 kN, a 392.51% increase over smooth piles, while caudal asperities achieved only 134.30%. Cranial asperities also mobilized shaft resistance more uniformly along the pile, reducing end-bearing reliance. This performance is explained by stronger passive interaction at the pile-soil interface, which raises normal stress and friction mobilization. The distinctive feature of this research is the identification of the L/H ratio as a measurable design parameter, with $L/H = 20$ found to be optimal, in contrast to previous studies that described roughness only qualitatively. The findings demonstrate practical potential for applying cranial asperity designs in pile foundations for light- to medium-scale infrastructure on sandy soils, such as bridges, wharves, and transmission towers, enabling shorter or fewer piles without compromising safety while improving cost efficiency and geotechnical performance.

Keywords: axial load capacity, caudal asperity, cranial asperity, experimental validation, L/H ratio.

References

- Lee, S.-H., Nawaz, M. N., Chong, S.-H. (2023). Estimation of interface frictional anisotropy between sand and snakeskin-inspired surfaces. *Scientific Reports*, 13 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-31047-3>
- Tramsen, H. T., Gorb, S. N., Zhang, H., Manoonpong, P., Dai, Z., Heepe, L. (2018). Inversion of friction anisotropy in a bio-inspired asymmetrically structured surface. *Journal of The Royal Society Interface*, 15 (138), 20170629. <https://doi.org/10.1098/rsif.2017.0629>
- Martinez, A., Palumbo, S., Todd, B. D. (2019). Bioinspiration for Anisotropic Load Transfer at Soil-Structure Interfaces. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 145 (10). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)gt.1943-5606.0002138](https://doi.org/10.1061/(asce)gt.1943-5606.0002138)
- Martinez, A., Frost, J. D. (2018). Undrained Behavior of Sand-Structure Interfaces Subjected to Cyclic Torsional Shearing. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 144 (9). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)gt.1943-5606.0001942](https://doi.org/10.1061/(asce)gt.1943-5606.0001942)
- Krengel, D., Jiang, H., Chen, J., Matsushima, T. (2025). The combined effect of particle angularity and inter-particle friction on micro- and macroscopic properties of granular assemblies. *Computers and Geotechnics*, 177, 106850. <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2024.106850>
- Zhang, T., Wang, Y., Zhang, C., Wang, S. (2024). DEM investigation of particle gradation effect on the stress-dilatancy behavior of granular soil. *Advanced Powder Technology*, 35 (11), 104692. <https://doi.org/10.1016/j.apt.2024.104692>
- Zhong, W., Liu, H., Wang, Q., Zhang, W., Li, Y., Ding, X., Chen, L. (2021). Investigation of the penetration characteristics of snake skin-inspired pile using DEM. *Acta Geotechnica*, 16 (6), 1849–1865. <https://doi.org/10.1007/s11440-020-01132-2>
- Martinez, A., Frost, J. D. (2017). The influence of surface roughness form on the strength of sand-structure interfaces. *Géotechnique Letters*, 7 (1), 104–111. <https://doi.org/10.1680/jgele.16.00169>
- Gayathri, V. L., Vangla, P., Riya, A. (2022). Effect of snakeskin-inspired patterns on the shear response of soil - continuum interfaces. *International Journal of Geotechnical Engineering*, 16 (6), 759–775. <https://doi.org/10.1080/19386362.2022.2066049>
- O'Hara, K. B., Martinez, A. (2020). Monotonic and Cyclic Frictional Resistance Directionality in Snakeskin-Inspired Surfaces and Piles. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 146 (11). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)gt.1943-5606.0002368](https://doi.org/10.1061/(asce)gt.1943-5606.0002368)
- Stutz, H. H., Martinez, A., Heepe, L., Tram Tramsen, H., Gorb, S. N. (2019). Strength anisotropy at soil-structure interfaces with snake skin inspired structural surfaces. *E3S Web of Conferences*, 92, 13008. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199213008>
- Martinez, A., Palumbo, S. (2018). Anisotropic Shear Behavior of Soil-Structure Interfaces: Bio-Inspiration from Snake Skin. *IFCEE 2018*, 94–104. <https://doi.org/10.1061/9780784481592.010>
- Nawaz, M. N., Lee, S.-H., Chong, S.-H., Ku, T. (2024). Interface frictional anisotropy of dilative sand. *Scientific Reports*, 14 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-56621-1>
- Moon, J.-S., Lee, S. (2016). Static skin friction behavior of a single micropile in sand. *KSCCE Journal of Civil Engineering*, 20 (5), 1793–1805. <https://doi.org/10.1007/s12205-016-0918-2>
- Kodicherla, S. P. K., Gong, G., Yang, Z. X., Krabbenhoft, K., Fan, L., Moy, C. K. S., Wilkinson, S. (2019). The influence of particle elongations on direct shear behaviour of granular materials using DEM. *Granular Matter*, 21 (4). <https://doi.org/10.1007/s10035-019-0947-x>
- Huang, L., Martinez, A. (2020). Study of Interface Frictional Anisotropy at Bioinspired Soil-Structure Interfaces with Compliant Asperities. *Geo-Congress 2020*, 253–261. <https://doi.org/10.1061/9780784482834.028>
- Vangla, P., Wala, B. A., Gayathri, V. L., Frost, J. D. (2022). Snake-skin-inspired patterns for frictional anisotropic behaviour of split set rock bolts. *Géotechnique Letters*, 12 (2), 95–100. <https://doi.org/10.1680/jgele.21.00076>
- Han, F., Ganju, E., Salgado, R., Prezzi, M. (2018). Effects of Interface Roughness, Particle Geometry, and Gradation on the Sand-Steel Interface Friction Angle. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 144 (12). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)gt.1943-5606.0001990](https://doi.org/10.1061/(asce)gt.1943-5606.0001990)
- Liu, R., Lou, S., Li, X., Han, G., Jiang, Y. (2020). Anisotropic surface roughness and shear behaviors of rough-walled plaster joints under constant normal load and constant normal stiffness conditions. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 12 (2), 338–352. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2019.07.007>
- Liu, Y., Liu, X., Hu, W. (2022). Competition mechanism between dilation and interlocking in granular soils: DEM simulation and constitutive modeling. *Acta Geotechnica*, 18 (1), 149–169. <https://doi.org/10.1007/s11440-022-01552-2>
- Vesic, A. B. (1963). Bearing capacity of deep foundations in sand. *Highway Research Record*. Available at: <https://trid.trb.org/View/126654>
- Yang, Q., Hong, S., Shen, Q., Xiao, S., Zhu, H. (2025). An Investigation of the Influence of Concrete Tubular Piles at the Pit Bottom During Excavation on Bearing Behavior. *Buildings*, 15 (14), 2437. <https://doi.org/10.3390/buildings15142437>
- O'Hara, K. B., Martinez, A. (2022). Load Transfer Directionality of Snakeskin-Inspired Piles during Installation and Pullout in

Sands. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 148 (12). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)gt.1943-5606.0002929](https://doi.org/10.1061/(asce)gt.1943-5606.0002929)

24. Aleali, S. A., Bandini, P., Newton, C. M. (2020). Multifaceted Bioinspiration for Improving the Shaft Resistance of Deep Foundations. Journal of Bionic Engineering, 17 (5), 1059–1074. <https://doi.org/10.1007/s42235-020-0076-6>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.342305

DEVELOPMENT OF A GRINDER-MILLER WITH ROLLING WORKING BODIES FOR SMALL FARMS (p. 102–110)

Tokhtar Abilzhanuly

Scientific Production Center of Agricultural Engineering,
Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9513-1702>

Ruslan Iskakov

S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University,
Astana, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5948-2636>

Daniyar Abilzhanov

Scientific Production Center of Agricultural Engineering,
Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7930-0481>

Alexandr Gulyarenko

S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University,
Astana, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4562-367X>

Olzhas Seipataliyev

Scientific Production Center of Agricultural Engineering,
Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4968-1754>

Nurakhmet Khamitov

Kazakh National Agrarian Research University,
Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-1880-8361>

The object of the research is the technological process of grain feed crushing in a roller-type crusher with small working dimensions and the interaction of individual grains with the roller surfaces within the inter-roller gap. The study focuses on ensuring stable productivity of up to 200 kg/h for small farms. A structural and technological scheme of a compact grinder-miller was developed, and an experimental prototype was produced. The length and diameter of the rollers were selected according to the operational requirements of small agricultural enterprises.

A hypothesis was formulated, assuming that grain particles behave as discrete bodies stochastically distributed in the inter-roller gap and partially aligned along the roller length before deformation. This allows a realistic description of their interaction with the working surfaces and the resulting energy consumption. Analytical expressions were obtained for determining productivity and required power based on a mathematical model linking roller geometry, kinematic parameters, and the probabilistic nature of grain flow.

Experimental studies verified the model by varying roller rotation speed from 56 to 178 min⁻¹. At 178 min⁻¹, the productivity reached 180 kg/h, and the consumed power was 1020 W. The discrepancy between theoretical and experimental productivity was 7.5%, and between power values 2.02%. The results confirm the validity of the developed discrete-probabilistic model and its applicability for opti-

mizing the design and operating parameters of compact roller-type crushers for decentralized feed production.

Keywords: grinder-miller, interroller gap, productivity, required power, roll rotation frequency.

References

- Morozov, N. (2023). Directions for the Development of Technical Progress in Animal Husbandry. XV International Scientific Conference "INTERAGROMASH 2022", 414–424. https://doi.org/10.1007/978-3-031-21432-5_42
- Abilzhanuly, T., Iskakov, R., Abilzhanov, D., Darkhan, O. (2023). Determination of the average size of preliminary grinded wet feed particles in hammer grinders. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1 (1 (121)), 34–43. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.268519>
- Iskakov, R., Gulyarenko, A. (2025). Grinding and Mixing Uniformity in a Feed Preparation Device with Four-Sided Jagged Hammers and Impact-Mixing Mechanisms. AgriEngineering, 7 (6), 183. <https://doi.org/10.3390/agriengineering7060183>
- Iskakov, R., Sugirbay, A. (2023). Technologies for the Rational Use of Animal Waste: A Review. Sustainability, 15 (3), 2278. <https://doi.org/10.3390/su15032278>
- Roller grain crusher of the M series. Available at: <https://kazagrotech.kz/katalog/selskohozyajstvennaya-tehnika/plyuschilki-i-drobilka/plyuschilki-valcovye-romill>
- Li, Y.-W., Zhao, L.-L., Hu, E.-Y., Yang, K.-K., He, J.-F., Jiang, H.-S., Hou, Q.-F. (2019). Laboratory-scale validation of a DEM model of a toothed double-roll crusher and numerical studies. Powder Technology, 356, 60–72. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2019.08.010>
- Thivierge, A., Bouchard, J., Desbiens, A. (2021). Modelling the product mass flow rate of high-pressure grinding rolls. IFAC-PapersOnLine, 54 (11), 127–132. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2021.10.062>
- Wu, S., Wang, S., Wang, G., Fan, L., Guo, J., Liu, Z. et al. (2024). Study on productivity of eccentric roll crusher based on theory and experiment. Minerals Engineering, 206, 108500. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2023.108500>
- Rodriguez, V. A., Campos, T. M., Barrios, G. K. P., Bueno, G., Tavares, L. M. (2023). A Hybrid PBM-DEM Model of High-Pressure Grinding Rolls Applied to Iron Ore Pellet Feed Pressing. KONA Powder and Particle Journal, 40, 262–276. <https://doi.org/10.14356/kona.2023011>
- Cieźkowski, P., Maciejewski, J., Bąk, S. (2017). Analysis of Energy Consumption of Crushing Processes – Comparison of One-Stage and Two-Stage Processes. Studia Geotechnica et Mechanica, 39 (2), 17–24. <https://doi.org/10.1515/sgem-2017-0012>
- El Ghobashy, H., Shaban, Y., Okasha, M., El-Reheem, S. A., Abdelgawad, M., Ibrahim, R. et al. (2023). Development and evaluation of a dual-purpose machine for chopping and crushing forage crops. Heliyon, 9 (4), e15460. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15460>
- Savoie, P., Rotz, C. A., Bucholtz, H. F., Brook, R. C. (1982). Hay Harvesting System Losses and Drying Rates. Transactions of the ASAE, 25 (3), 0581–0585. <https://doi.org/10.13031/2013.33576>
- Tumuluru, J. S., Tabil, L. G., Song, Y., Iroba, K. L., Meda, V. (2014). Grinding energy and physical properties of chopped and hammer-milled barley, wheat, oat, and canola straws. Biomass and Bioenergy, 60, 58–67. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2013.10.011>
- Rashidi, S., Rajamani, R. K., Fuerstenau, D. W. (2017). A Review of the Modeling of High Pressure Grinding Rolls. KONA Powder and Particle Journal, 34, 125–140. <https://doi.org/10.14356/kona.2017017>

15. Moiceanu, G., Paraschiv, G., Voicu, G., Dinca, M., Negoita, O., Chitoiu, M., Tudor, P. (2019). Energy Consumption at Size Reduction of Ligno-cellulose Biomass for Bioenergy. *Sustainability*, 11 (9), 2477. <https://doi.org/10.3390/su11092477>
16. Ebbing, M. A., Yacoubi, N., Naranjo, V., Sitzmann, W., Schedle, K., Gierus, M. (2022). Towards Large Particle Size in Compound Feed: Using Expander Conditioning Prior to Pelleting Improves Pellet Quality and Growth Performance of Broilers. *Animals*, 12 (19), 2707. <https://doi.org/10.3390/ani12192707>
17. Cleary, P. W., Delaney, G. W., Sinnott, M. D., Cummins, S. J., Morrison, R. D. (2020). Advanced comminution modelling: Part 1 – Crushers. *Applied Mathematical Modelling*, 88, 238–265. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2020.06.049>
18. Savinykh, P., Aleshkin, A., Isupov, A., Kipriyanov, F., Skhlyaev, V. (2023). Modelling and calculation of stumulated oscillation for a crushing plant with vibration. *E3S Web of Conferences*, 383, 04071. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202338304071>
19. M900 Crusher. Available at: <https://dozaagro.com/oborudovanie/pluschenie/valtsovyeplyushchilka-m900/>
20. Al-Rabadi, G. (2013). Influence of hammer mill screen size on processing parameters and starch enrichment in milled sorghum. *Cereal Research Communications*, 41 (3), 493–499. <https://doi.org/10.1556/crc.2013.0016>
21. Al-Eid, M., Qabatty, A., Kubaisi, R., Jaafar, A. A. K. (2025). Optimization of key operating parameters to enhance performance and energy efficiency of a hammer mill for corn grinding. *Discover Applied Sciences*, 7 (6). <https://doi.org/10.1007/s42452-025-07263-z>
22. Abilzhanov, D. T. (2002). Development of a universal feed preparation unit for peasant and private subsidiary farms. *Almaty*, 30.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.341225

**IDENTIFICATION OF 3D PRINTER FIRMWARE
APPLYING BRUSHLESS DIRECT CURRENT MOTOR
SERVO WITH STEP G-CODE READING AND
EXECUTING METHOD (p. 111–123)**

Budhy Setiawan

State Polytechnic of Malang, Malang, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-0759-3543>

Indrazno Siradjuddin

State Polytechnic of Malang, Malang, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8706-3570>

Resti Dyah Ayu Retno Palupi

State Polytechnic of Malang, Malang, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-4262-2662>

The object of this study is a large-scale Cartesian 3D printer with a build volume of $2 \times 2 \times 2$ meters, equipped with BLDC servo motors on the X and Y axes, a NEMA 34 stepper motor on the Z axis, and a NEMA 17 stepper motor for filament extrusion. The main problem addressed is the limitation of existing firmware, which only supports bipolar stepper motors (NEMA standard), making it unsuitable for achieving the higher extruder speeds required in large-format printing. To overcome this issue, a new firmware was designed to support brushless direct current (BLDC) servo motors, enabling faster, more stable, and more precise motion control.

The developed firmware, based on the ESP32 microcontroller, processes G-code instructions step by step, calculates motor commands, and communicates them to BLDC motor drivers (F5ESC 4.12 on the

VESC platform) with encoder feedback for accurate positioning. Experimental results demonstrated reliable synchronization of the X and Y axes across different speeds and distances, with average positioning errors of 0.9% on the X-axis and 1.03% on the Y-axis. The system operated stably within a rotational speed range of F8000–F54000 (1000–7000 RPM) and a printing speed range of 92–800 mm/s, confirming the firmware's capability to handle both low- and high-speed operations.

The interpretation of the results provides superior acceleration, precision, and stability compared to stepper-motor-based systems. A distinctive feature of this work lies in adapting G-Code step execution for BLDC motors, which has not been widely implemented in existing 3D printing firmware. The practical significance of the results is the potential application of this firmware in large-scale and high-speed 3D printers. This makes the approach highly relevant for advanced manufacturing industries where precision, scalability, and efficiency are critical.

Keywords: large-scale 3D printing, step-by-step G-code execution, brushless direct current servo firmware, ESP32 motion control, high-speed additive manufacturing.

References

1. Audiana, V. U., Setiawan, B., Sumari, A. D. W., Wibowo, S. (2021). Control position of the double nozzles on the Y (+) and Y (–) axis of 3D symmetric bilateral printing using G-Code. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1073 (1), 012072. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1073/1/012072>
2. Zhang, J. (2025). Application of CNC Technology in Automated Machinery Manufacturing. *Highlights in Science, Engineering and Technology*, 126, 151–154. <https://doi.org/10.54097/3bptq021>
3. Yavartanoo, M., Hong, S., Neshatavar, R., Lee, K. M. (2024). CNC-Net: Self-Supervised Learning for CNC Machining Operations. *2024 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 9816–9825. <https://doi.org/10.1109/cvpr52733.2024.00937>
4. Montalti, A., Ferretti, P., Santi, G. M. (2024). From CAD to G-code: Strategies to minimizing errors in 3D printing process. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 55, 62–70. <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2024.09.005>
5. Hao, X., Xia, G., Zhang, S., Zhou, Z., Du, M., Ding, X. (2022). Study of metal 3D printing stepper motor control based on S- trapezoid algorithm. *2022 5th World Conference on Mechanical Engineering and Intelligent Manufacturing (WCMEIM)*, 1107–1111. <https://doi.org/10.1109/wcmeim56910.2022.10021403>
6. Simeonov, S. M., Maradzhiev, I. P. (2023). Improving the print quality of a budget 3D FDM printer by replacing the factory-installed stepper motor drivers. *2023 XXXII International Scientific Conference Electronics (ET)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/et59121.2023.10279569>
7. Setiawan, B., Siradjuddin, I., Dewi Fashihah, R. L., Ayu Retno Palupi, R. D., Elyas Ageed, O. S. (2024). BLDC Servo Motor System with Gradient and Ratio Method to Increase Extruder Movement Speed on 3D Printing. *2024 International Conference on Electrical and Information Technology (IEIT)*, 7–13. <https://doi.org/10.1109/ieit64341.2024.10763184>
8. Son, Y.-D., Kim, H.-J., Kim, J.-M. (2025). Sensorless control method of a delta winding brushless DC motor using a state observer. *Journal of Power Electronics*, 25 (2), 260–270. <https://doi.org/10.1007/s43236-024-00954-7>
9. Yeom, H. (2018). The BLDC and Stepping Motor Control Firmware Programming to Improve Efficiency of SVF Extraction. *International Journal of Engineering and Technology*.

10. Farina, M. D. O., Pohren, D. H., Roque, A. dos S., Silva, A., Da Costa, J. P. J., Fontoura, L. M. et al. (2024). Hardware-Independent Embedded Firmware Architecture Framework. *Journal of Internet Services and Applications*, 15 (1), 14–24. <https://doi.org/10.5753/jisa.2024.3634>
11. Li, X. (2022). G-Code Re-compilation and Optimization for Faster 3D Printing. *Languages and Compilers for Parallel Computing*, 104–116. https://doi.org/10.1007/978-3-030-95953-1_8
12. Rais, M. H., Ahsan, M., Ahmed, I. (2024). SOK: 3D Printer Firmware Attacks on Fused Filament Fabrication. *Proceedings of the 18th USENIX WOOT Conference on Offensive Technologies*. Available at: <https://www.usenix.org/system/files/woot24-rais.pdf>
13. Bukhari, S. B. H., Tanveer, T., Abid, A., Anwar, S. (2023). Design and Fabrication of Inexpensive Portable Polar 3D Printer. *2023 International Conference on Robotics and Automation in Industry (ICRAI)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/icrai57502.2023.10089592>
14. Zandberg, K., Schleiser, K., Acosta, F., Tschofenig, H., Baccelli, E. (2019). Secure Firmware Updates for Constrained IoT Devices Using Open Standards: A Reality Check. *IEEE Access*, 7, 71907–71920. <https://doi.org/10.1109/access.2019.2919760>
15. Peng, F., Yang, J., Long, M. (2019). 3-D Printed Object Authentication Based on Printing Noise and Digital Signature. *IEEE Transactions on Reliability*, 68 (1), 342–353. <https://doi.org/10.1109/tr.2018.2869303>
16. Zhu, X., Li, Q., Zhang, P., Chen, Z. (2019). A Firmware Code Gene Extraction Technology for IoT Terminal. *IEEE Access*, 7, 179591–179604. <https://doi.org/10.1109/access.2019.2959089>
17. Ferrando-Rocher, M., Herranz-Herruzo, J. I., Valero-Nogueira, A., Bernardo-Clemente, B. (2018). Performance Assessment of Gap-Waveguide Array Antennas: CNC Milling Versus Three-Dimensional Printing. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 17 (11), 2056–2060. <https://doi.org/10.1109/lawp.2018.2833740>
18. Hasan, Md. M., Khan, Md. R., Noman, A. T., Rashid, H., Ahmed, N., Reza, S. M. T. (2019). Design and Implementation of a Microcontroller Based Low Cost Computer Numerical Control (CNC) Plotter using Motor Driver Controller. *2019 International Conference on Electrical, Computer and Communication Engineering (ECCE)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/ecace.2019.8679123>
19. Luo, R. C., Hsu, L. C., Hsiao, T. J., Perng, Y. W. (2020). 3D Digital Manufacturing via Synchronous 5-Axes Printing for Strengthening Printing Parts. *IEEE Access*, 8, 126083–126091. <https://doi.org/10.1109/access.2020.3007772>
20. Hoque, Md. M., Jony, Md. M. H., Hasan, Md. M., Kabir, M. H. (2019). Design and Implementation of an FDM Based 3D Printer. *2019 International Conference on Computer, Communication, Chemical, Materials and Electronic Engineering (IC4ME2)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/ic4me247184.2019.9036538>
21. Beckwith, C., Naicker, H. S., Mehta, S., Udupa, V. R., Nim, N. T., Gadre, V. et al. (2022). Needle in a Haystack: Detecting Subtle Malicious Edits to Additive Manufacturing G-Code Files. *IEEE Embedded Systems Letters*, 14 (3), 111–114. <https://doi.org/10.1109/les.2021.3129108>
22. Kholodilov, A. A., Faleeva, E. V., Kholodilova, M. V. (2020). Analysis of the Technology of Transferring a Three-Dimensional Model from Cad Format to the Control Code For 3D Printing. *2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/fareastcon50210.2020.9271241>
23. Maravi R, D. A., Iparraguirre O, G. M., Prado G, S. R. (2020). Implementation of a Digital PID Control for the Compensation of Loss Steps from CORE XY 3D Printer Motors Working at High Speeds. *2020 IEEE ANDESCON*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/andescon50619.2020.9272178>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.341457

РОЗРОБКА СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ АРГУМЕНТОВАНОГО ВИБОРУ МАШИН ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ШКІРЯНИХ ВИРОБІВ (с. 6–18)**О. В. Захаркевич, Ю. В. Кошевка, Т. І. Жиленко, Г. С. Швец, С. Г. Кулешова, В. І. Онофрійчук, А. С. Дякова**

Об'єктом дослідження є процес відбору швейного обладнання для виготовлення швейних виробів зі штучної шкіри. Незважаючи на активний розвиток технологічних рішень для автоматизації, проблема вибору оптимального обладнання залишається актуальною, вимагаючи додаткових інструментів, які здатні забезпечити зв'язок між науковими підходами та умовами виробництва. У даній роботі представлено результати розробки автоматизованої системи підтримки прийняття рішень у процесах підбору швейного обладнання, що має на меті практичну адаптацію теоретичних моделей до потреб виробництва.

Розробка базується на трирівневій структурі бази даних: на рівні зберігання даних сформовано базу параметрів обладнання у вигляді матриці, що забезпечує узгодженість інформації про технологічні операції, матеріали та характеристики машин. На логічному рівні розроблено алгоритм багатофакторного аналізу, що використовує принципи теорії графів, бінарну матрицю та метод лінійного програмування для вибору оптимальної моделі обладнання. Презентаційний рівень представлено інтерактивним інтерфейсом на базі MS Excel (США). Вхідні параметри обираються простим натисканням на кнопки з відповідними назвами (тип шва, кваліфікація робітника, властивості та товщина матеріалу). Система автоматично проводить аналіз бази даних і формує перелік рекомендованого обладнання у вигляді таблиці.

Верифікація виконана шляхом опитування за участю 30 осіб (86,7% представники академічного середовища). При цьому, 93,3% респондентів відзначили високу швидкість роботи, 90,0% оцінили практичність, а 86,7% зручність. Разом із тим, 23,3% опитаних наголосили на потребі розширення бази даних, а 16,7% акцентували увагу на необхідності впровадження україномовної версії.

Встановлено, що розроблена система є універсальним інструментом, який поєднує освітній та виробничо-прикладний виміри. Впровадження в освітній процес сприятиме досягненню низки програмних результатів навчання.

Ключові слова: вибір машини, база даних, технологічна операція, швейне виробництво, система підтримки рішень.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.339913

ПОКРАЩЕННЯ ПРОВІДНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ШАРІВ ДРУКОВАНОЇ ЕЛЕКТРОНІКИ ШЛЯХОМ ОБРОБКИ КОРОННИМ РОЗРЯДОМ ПАПЕРОВИХ ОСНОВ ПЕРЕД ТРАФАРЕТНИМ ДРУКОМ (с. 19–30)**Т. Ю. Киричок, Т. Є. Клименко, Б. О. Бардовський, Є. В. Авдяков**

Об'єктом дослідження є провідні шари друкованої електроніки на основі графенової пластизольної фарби, нанесені методом трафаретного друку на глянцеві та матові паперові основи, попередньо модифіковані коронним розрядом. Проблема полягала у низькій адгезії та нестабільності провідних шарів на паперових основах, що зумовлено їх шорсткістю, пористістю та гідрофільністю.

Встановлено, що обробка коронним розрядом знижує питомий опір провідних доріжок на матовому папері до 25–30% у порівнянні з необробленими зразками, а на глянцевому – на 8–12%. Найкращі результати отримано при потужності 3000 Вт: для матового паперу опір доріжок шириною 1 мм зменшився з 1447,1 Ом до 1035,6 Ом, а для 5 мм – з 184,0 Ом до 161,1 Ом. Після випробувань зростання опору у зразків M3000 було в середньому на 2–5%, тоді як у необроблених аналогів – до 46%.

Інтерпретація результатів показала, що підвищення поверхневої енергії та мікрощорсткості після коронної обробки сприяє кращому змочуванню та закріпленню графенової фарби, формуванню щільнішого провідного шару та зменшенню контактних дефектів. Особливістю є підтверджена стабільність електричних характеристик після термоциклів і зменшення частки повних відмов у зразків глянцевого паперу з попередньою обробкою. Додатково відзначено зниження розкиду вимірювань і покращену відтворюваність друку для вузьких доріжок (1–2 мм) на матовому папері після коронування 3000 Вт.

Практичне значення результатів полягає у можливості застосування обробки коронним розрядом у виробництві гнучкої друкованої електроніки на паперових носіях, особливо для мініатюрних елементів із високими вимогами до провідності та зносостійкості. Метод ефективний у умовах масового рулонного (R2R) виробництва, сумісний із тонкими основами і не потребує складної інтеграції в технологічний процес.

Ключові слова: друкована електроніка, гнучка електроніка на папері, графенові провідні шари, зносостійкість.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.340835

ВИЗНАЧЕННЯ МЕХАНІЗМУ ЗАХОПЛЮЮЧОЇ ЗДАТНОСТІ ВАЛКІВ І ПРОКАТКИ НА МЕЖІ СТІЙКОСТІ ПРИ АСИМЕТРИЧНОМУ НАВАНТАЖЕННІ (с. 31–54)**Valeriy Chigirinsky, Abdrakhman Naizabekov, Sergey Lezhnev, O. G. Науменко, Sergey Kuzmin, Sergey Melentyev**

Об'єкт дослідження – напружений стан пластичного осередка деформації при асиметричному навантаженні, захопленні металу валками, визначальних режимах стійкості процесу.

Проблема, яка вирішувалася, це реалізація ефекту пластичної формозміни на межі стійкості процесу прокатки, пов'язаного зі зниженням силового навантаження при збільшеному деформаційному впливі.

Розроблено фізичну та математичну модель плоскої задачі теорії прокатки в умовах багатопараметричних чинників впливу на захоплюючу здатність валків, стійкість процесу прокатки.

Задачу теорії пластичності розв'язано аналітично з використанням методу аргумент функцій комплексної змінної. Показано розв'язання плоскої задачі з погляду асиметрії процесу, протиспрямованої течії металу. Враховано нелінійність задачі теорії пластичності.

На базі математичної моделі виявлено та досліджено новий силовий фактор: фактор силового розтягування з боку зони відставання. Виявлено новий однозонний режим деформації з мінімальною стійкістю процесу. Процес досліджено в умовах багатопараметричного впливу на захоплюючу здатність валків і його стійкість. Встановлені зони досяжності при факторі форми вогнища деформації в межах 5,00...15,00. Досліджено режим часткового пригнічувального впливу обнуляючих чинників напруженого стану металу на захоплюючу здатність валків і стійкість процесу. Визначено показники стійкості перехідних режимів, при $\alpha = 0,077$ показник відношення $f/\alpha = 1,10...1,95$; при $\alpha = 0,129$ показник відношення $f/\alpha = 1,19...1,95$; при $\alpha = 0,168$ показник відношення $f/\alpha = 1,28...1,95$.

Результати роботи дають змогу розв'язувати технологічну проблему, пов'язану з розробленням схем прокатки, коли в процесі формування виникають захоплювальна сила тертя і виштовхувальна сила нормального тиску.

Ключові слова: асиметрія навантаження, протиспрямована течія металу, втрата стійкості, напружено-деформований стан.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.341458

ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО РІВНЯ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ ПРОЦЕСІВ ОБРОБКИ СЕРЕДОВИЩ РІЗНОЇ СТРУКТУРИ (с. 55–65)

І. І. Назаренко, О. П. Дедов, І. М. Берник, А. В. Запривода, М. М. Ручинський, А. Є. Бондаренко

Вібраційна обробка лежить в основі багатьох технологічних процесів різних галузей народного господарства. Об'єктом досліджень є єдиний спільний хвильовий процес руху системи, а предметом – параметри і режими, які забезпечують раціональний рівень енергії. При цьому акцентується увага на використанні енергозберігаючих технологій. В більшості процесів використовуються енерговитратні технології і обладнання, розрахунки яких базуються на застосуванні формул для визначення енергії на дискретних та емпіричних залежностях. Такі підходи не розкривають сутність процесів обробки матеріалів і не можуть точно оцінити енергетичні витрати. В роботі вирішується дана проблема шляхом визначення параметрів і режимів на основі умов реалізації синергії системи «збудник коливань – оброблювальне середовище». В цьому полягає особливість та відмінність отриманих результатів досліджень. Розроблені дискретно-континуальні моделі із врахуванням реологічних властивостей середовищ та аналітичні рішення й експериментальні дослідження дозволили визначити параметри низькочастотних та високочастотних дій на оброблювальні середовища. В роботі використаний метод, за яким сукупність частоти і амплітуди коливань визначає інтенсивність вібраційного впливу на оброблювальне середовище. Визначено опір технологічного середовища на рух робочого органу збудника коливань, який складався із інерційної, пружної та дисипативної частин. Дослідженням визначена якісна та кількісна картина зміни розсіяння енергії в конкретних матеріалах і середовищах за різних законів їх навантаження та обробки. Визначено рівень енергії для обробки технологічних середовищ в режимах низькочастотних та високочастотних дій. Методика досліджень та аналітична залежність визначення енергії може бути використаною для різноманітних середовищ, які перебувають під навантаженням.

Ключові слова: збудник коливань, середовище, дискретно-континуальна модель, розсіяння енергії, амплітуда коливань, частота.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.338832

ВИЗНАЧЕННЯ ВИТРАТ ЕНЕРГІЇ НА ШВИДКІСТЬ ЗНЯТТЯ МАТЕРІАЛУ В ПРОЦЕСІ АБРАЗИВНОГО РІЗАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ТОНКОГО ШЛІФУВАЛЬНОГО КРУГА (с. 66–75)

Eko Yudiyanto, Satworo Adiwidodo, Sugeng Hadi Susilo, Bayu Pranoto

Об'єктом дослідження є процес абразивного різання з використанням тонких шліфувальних кругів, який застосовується для різання матеріалів з різними механічними властивостями. Проблема, яку необхідно вирішити, полягає у визначенні характеристик споживання енергії в цьому процесі шляхом контролю параметрів різання, таких як товщина шліфувального круга та швидкість подачі. Був проведений експеримент з використанням шліфувальних кругів товщиною 1,2, 1,6, 2,0 та 3,0 мм для різання металів. Різні швидкості подачі використовувалися для різання Al, ST37 та чавуну, які є пластичними, пластично-твердими та крихкими матеріалами. Результати експерименту показують обернену експоненціальну залежність між швидкістю подачі та питомою енергією. Шліфувальний круг діаметром 1,2 мм споживає до 10% менше енергії, ніж круг діаметром 3,0 мм при низьких швидкостях подачі. Відображення цих характеристик дозволяє вибрати рекомендовані параметри. Для досягнення стабільності під час процесу різання пластичних матеріалів використовується шліфувальний круг діаметром 1,6 мм, що працює зі швидкістю подачі 0,166 мм/с. Жорсткість круга визначає стабільність обертання, яка залежить від товщини шліфувального круга. Товщина шліфувального круга визначає швидкість видалення матеріалу під час абразивного процесу. Пластичні матеріали, такі як ST37, потребують більше енергії, оскільки абразивні частинки повинні бути здатні порушувати властивості матеріалу для ерозії його поверхні. Пластичні матеріали, як правило, викликають високе тертя та виділяють тепло, плаваючи матеріал. Простір між абразивними частинками може бути заповнений рідким матеріалом, що призводить до покриття ріжучої кромки абразивних частинок абразивним розчином. Застосування результатів спрямоване на механічну обробку як наукову основу для контролю енергії у виробничому процесі.

Ключові слова: споживання енергії, абразивне різання, відрізне шліфування, енергія різання, швидкість видалення матеріалу, тонкий шліфувальний круг.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.341455

УДОСКОНАЛЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ ВОЛОКНИСТИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ (с. 76–84)

Ю. І. Сичов, О. С. Бринюк, К. С. Вародов, Я. А. Гречанюк

Об'єктом дослідження був процес різання волокнистих полімерних композиційних матеріалів. Основною причиною обмеження застосування полімерних композитів є погіршення їх експлуатаційних властивостей після механічної обробки через руйнування поверхневого шару. Настала необхідність надати обґрунтовані рекомендації з механічної обробки волокнистих полімерних композитів (ВПК). Це дозволить знизити глибину руйнування поверхневого шару ВПК до 20–50 мкм і розширити область функціонального застосування цих матеріалів.

Було проведено експериментальне дослідження впливу режимів різання і геометричних параметрів ріжучої частини інструментів на технологічні складові сили різання. Це дозволило встановити, що найбільший вплив на силу різання при обробці волокнистих композитів надають величини геометричних характеристик інструменту. Зниження енерговитрат на різання до рівня 1,5 кНхм/с сприяє мінімізації впливу механічного, теплового та хімічного фактору на руйнування композиту. ВПК володіють високими пружними властивостями, що визначає особливості процесу різання. Це призводить до підвищених значень сил різання на задній поверхні, внаслідок чого рекомендується вести обробку загостреним інструментом з великими значеннями переднього γ і заднього α кутів леза.

Визначення сили різання дозволяє правильно призначити геометричні параметри інструменту і оцінити похибку обробки.

Визначені режими механічної обробки дозволяють знизити глибину дефектного шару в 10 разів ($RZ \leq 20$ мм, $KB \leq 5\%$, $N \leq 1012$ спин/гр, $M \leq 50$ мкм) і підвищити в двічі стійкість ріжучого інструменту. Отримані результати дозволять вдосконалити процес формування виробів із полімерних матеріалів при виготовленні на виробництві.

Ключові слова: характеристики різання, композитні матеріали, механічна обробка, пружні властивості, деформація композиту.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.341378

ФОРМУВАННЯ ДЕСТРУКТИВНОГО ШАРУ СПЕЦІАЛЬНИХ ГУМ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД РЕЖИМІВ CO₂-ЛАЗЕРНОЇ ОБРОБКИ (с. 85–93)

Д. Е. Сідоров, Д. О. Козік, І. О. Казак, Т. Б. Шилович, Ю. Б. Прібілев

Об'єктом дослідження є спеціалізовані гуми в процесі лазерного гравіювання. Вирішувалась проблема підвищення якості гумових виробів на основі застосування лазерного гравіювання, яке дозволяє досягати високої деталізації, складної геометрії і стабільної якості з мінімальною зношуваністю інструменту. Проведені експериментальні дослідження глибини деструктивного шару в залежності від режимів CO₂-лазерної обробки деяких гум. Процес гравіювання гуми є CO₂-лазером з довжиною хвилі 10,6 мкм розглянуто в режимі серійної подачі імпульсів для збереження правильної геометрії краю різку, за фіксованих умов швидкості переміщення променя та прискорення. Результати узгоджених експериментів (гуми AERO Laserrubber, OLIO Laserrubber, TEMPO Laserrubber, CLASSICO Laserrubber та ECO Laserrubber) виявили сталу тенденцію зростання глибини деструктивного шару в середньому на (1,0 ... 1,2) мкм кожні 5 Вт із підвищенням потужності CO₂-лазера в діапазоні (30 ... 55) Вт. При підведенні потужності понад 60 Вт спостерігалася стабілізація або незначне коливання глибини деструктивного шару. Отримані графіки демонструють високий ступінь узгодженості з аналітичною моделлю та підтверджують доцільність використання лазерного гравіювання саме у межах (35 ... 50) Вт для точної і чистої обробки та отримання якісних гумових виробів.

Ключові слова: гума, лазерне гравіювання, глибина деструктивного шару, потужність CO₂-лазера, підвищення якості.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.334186

РОЗРОБКА ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ОЦІНКА БІО-ІНСПРОВАНИХ НЕРІВНОСТЕЙ ПОВЕРХНІ ПАЛЬ ДЛЯ ПОКРАЩЕНОГО ПЕРЕНЕСЕННЯ НАВАНТАЖЕННЯ В ПІЩАНИХ ҐРУНТАХ (с. 94–101)

Agata Iwan Candra, As'ad Munawir, Yulvi Zaika, Eko Andi Suryo

У піщаних ґрунтах ефективність опору поверхневого шару є критично важливою, оскільки вона визначає вантажопідйомність, осідання та вартість фундаменту. У цій роботі досліджуються пальові фундаменти зі спрямованими нерівностями поверхні, вбудованими в однорідний пісок, щоб з'ясувати обмежені знання про те, як орієнтація нерівностей (краніальна проти каудальної), геометричне співвідношення (L / H) та діаметр палі впливають на передачу осового навантаження. Експериментальні випробування проводилися на сталевих палях діаметром 10, 12 та 15,85 мм за гладких, краніальних та каудальних умов зі співвідношеннями L / H 20, 26,67 та 33,33. Випробування на осьове стискання відповідно до ASTM D1143-20 у контрольованому сухому піску забезпечили дані про граничне навантаження та опір стволу, підтвержені однофакторним дисперсійним аналізом. Результати показують, що краніальні нерівності послідовно перевершували інші поверхні, причому конфігурація Cr L / H 20 на палі 15,85 мм досягла 0,368 кН, що на 392,51% більше, ніж у гладких палях, тоді як каудальні нерівності досягли лише 134,30%. Черепні нерівності також рівномірніше мобілізували опір ствола вздовж палі, зменшуючи залежність від торцевих опор. Ця продуктивність пояснюється сильнішою пасивною взаємодією на межі розділу паля-ґрунт, що підвищує нормальні напруження та мобілізацію тертя. Відмінною особливістю цього дослідження є визначення співвідношення L / H як вимірюваного параметра проектування, причому $L / H = 20$ було визнано оптимальним, на відміну від попередніх досліджень, які описували шорсткість лише якісно. Результати дослідження демонструють практичний потенціал застосування конструкцій з урахуванням нерівностей краніальної лінії в палювих фундаментах для легкої та середньої інфраструктури на піщаних ґрунтах, таких як мости, пристані та вежі ліній електропередач, що дозволяє використовувати коротші або меншу кількість палей без шкоди для безпеки, одночасно покращуючи економічну ефективність та геотехнічні характеристики.

Ключові слова: осьова вантажопідйомність, каудальна нерівність, краніальна нерівність, експериментальна перевірка, співвідношення L / H .

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.342305

РОЗРОБКА ПЛЮЩИЛКИ-ПОДРОБНИКА З ВАЛЬЦОВИМИ РОБОЧИМИ ОРГАНАМИ ДЛЯ МАЛИХ ГОСПОДАРСТВ (с. 102–110)

Tokhtar Abilzhanuly, Ruslan Iskakov, Daniyar Abilzhanov, Alexandr Gulyarenko, Olzhas Seipataliyev, Nurakhmet Khamitov

Об'єктом дослідження є технологічний процес подрібнення зернових кормів у дробарці вальцювого типу з малими робочими розмірами та взаємодія окремих зерен з поверхнями валків у межах міжвалкового зазору. Дослідження зосереджено на забезпеченні стабільної продуктивності до 200 кг/год для малих фермерських господарств. Розроблено структурно-технологічну схему компактного млинарного комбайна та виготовлено експериментальний прототип. Довжину та діаметр вальців було обрано відповідно до експлуатаційних вимог малих сільськогосподарських підприємств.

Було сформульовано гіпотезу, що частинки зерна поведуться як дискретні тіла, стохастично розподілені в міжвальцьовому зазорі та частково вирівняні вздовж довжини вальця перед деформацією. Це дозволяє реалістично описати їх взаємодію з робочими поверхнями та результуюче енергоспоживання. Отримано аналітичні вирази для визначення продуктивності та необхідної потужності на основі математичної моделі, що пов'язує геометрію вальців, кінематичні параметри та ймовірнісний характер потоку зерна.

Експериментальні дослідження верифікували модель шляхом зміни швидкості обертання вальців від 56 до 178 хв⁻¹. При 178 хв⁻¹ продуктивність досягла 180 кг/год, а споживана потужність – 1020 Вт. Розбіжність між теоретичною та експериментальною продуктивністю становила 7,5%, а між значеннями потужності – 2,02%. Результати підтверджують достовірність розробленої дискретно-ймовірнісної моделі та її застосовність для оптимізації конструктивних та робочих параметрів компактних валкових дробарок для децентралізованого виробництва кормів.

Ключевые слова: плющилка-змішувач, міжвальцевий зазор, провідність, потрібна потужність, частота обертання вальців.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.341225

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ПРОШИВКИ 3D-ПРИНТЕРА ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ БЕЗЩІТКОВОГО СЕРВОДВИГУНА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ З МЕТОДОМ ПОКРОКОВОГО ЗЧИТУВАННЯ ТА ВИКОНАННЯ G-КОДУ (с. 111–123)

Budhy Setiawan, Indrazno Siradjuddin, Resti Dyah Ayu Retno Palupi

Об'єктом цього дослідження є великомасштабний декартовий 3D-принтер з об'ємом друку 2 × 2 × 2 метри, оснащений серводвигунами BLDC по осях X та Y, кроковим двигуном NEMA 34 по осі Z та кроковим двигуном NEMA 17 для екструзії філаменту. Основна проблема, яку було вирішено, полягає в обмеженні існуючої прошивки, яка підтримує лише біполярні крокові двигуни (стандарт NEMA), що робить її непридатною для досягнення вищих швидкостей екструдера, необхідних для широкоформатного друку. Щоб подолати цю проблему, було розроблено нову прошивку для підтримки безщіткових серводвигунів постійного струму (BLDC), що забезпечує швидше, стабільніше та точніше керування рухом.

Розроблена прошивка, заснована на мікроконтролері ESP32, крок за кроком обробляє інструкції G-коду, обчислює команди двигуна та передає їх драйверам двигуна BLDC (FSESC 4.12 на платформі VESC) зі зворотним зв'язком від енкодера для точного позиціонування. Експериментальні результати продемонстрували надійну синхронізацію осей X та Y на різних швидкостях та відстанях, із середніми похибками позиціонування 0,9% по осі X та 1,03% по осі Y. Система стабільно працювала в діапазоні швидкостей обертання F8000–F54000 (1000–7000 об/хв) та діапазоні швидкостей друку 92–800 мм/с, що підтверджує здатність прошивки обробляти як низькошвидкісні, так і високошвидкісні операції.

Відзначене швидке прискорення, точність та стабільність порівняно з системами на основі крокових двигунів. Відмінною особливістю цієї роботи є адаптація виконання кроків G-коду для двигунів BLDC, що не було широко реалізовано в існуючих прошивках для 3D-друку. Практичне значення результатів полягає в потенційному застосуванні цієї прошивки у великомасштабних та високошвидкісних 3D-принтерах. Це робить цей підхід надзвичайно актуальним для передових виробничих галузей, де точність, масштабованість та ефективність є критично важливими.

Ключові слова: великомасштабний 3D-друк, покрокове виконання G-коду, прошивка безщіткового сервоприводу постійного струму, керування рухом ESP32, високошвидкісне адитивне виробництво.