

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.216409

IMPROVING THE EFFICIENCY OF THE PROCESS OF CONTINUOUS FLOW MIXING OF BULK COMPONENTS (p. 6–13)**Igor Shevchenko**

Institute of Oilseeds of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, Sonyachne vil., Zaporizhzhya distr., Zaporizhzhya reg., Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4191-4146>**Elchyn Aliiev**

Institute of Oilseeds of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, Sonyachne vil., Zaporizhzhya distr., Zaporizhzhya reg., Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4006-8803>

Modern industrial and agricultural processing almost always implies mixing loose material on a variety of equipment. At present, there are known mixers of various designs, principles, and techniques to implement the technological process. One of the existing mixing techniques is a continuous flow method that has significant advantages – reducing energy intensity while improving the quality of the process of the mixture continuous preparation and distribution. However, the continuous-flow technique of mixing loose materials has been paid little attention to. This prevents the application of well-known analytical models of the process of moving loose components to substantiate the structural and technological parameters for the working bodies of a continuous flow mixer.

The result of the analytical study of the continuous-flow mixing technique is the constructed system of differential equations of the movement of a bulk material's components in the airflow under the influence of the working bodies' surfaces of the designed mixer. The reported system of differential equations underlies the physical-mathematical apparatus for the numerical modeling of the specified process employing the software package StarCCM+ (USA).

The result of the numerical modeling is the established dependences of the dynamics of change in the concentration of components in the mixture and the homogeneity of the mixture in the zones of a continuous flow mixer depending on the study factors (the frequency of rotations, the angle of attack of the blade mixer, the performance of feeding the first and second components).

The optimal structural and technological parameters for a continuous flow mixer involved in the process of mixing a two-component feed mixture (stem and concentrated feed) have been determined, at which the uniformity of the resulting forage mixture is maximal.

Keywords: loose material, continuous flow mixing, numerical modeling, working body, structural and technological parameters.

References

- Fazekas, S. (2007). Distinct Element Simulations of Granular Materials. Budapest, 144. Available at: <https://repositorium.omikk.bme.hu/bitstream/handle/10890/602/ertekezes.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Holdich, R. (2002). Fundamentals of Particle Technology. Midland Information Technology and Publishing, 173. Available at: https://www.researchgate.net/publication/255700879_Fundamentals_of_Particle_Technology
- Alenzi, A. F. (2012). Modeling of consolidation and flow of granular material under varying conditions. University of Pittsburgh, 144. Available at: <http://d-scholarship.pitt.edu/id/eprint/13172>
- Jahani, M., Farzanegan, A., Noaparast, M. (2015). Investigation of screening performance of banana screens using LIGGGHTS DEM solver. Powder Technology, 283, 32–47. doi: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2015.05.016>
- Abbaspour-Fard, M. H. (2000). Discrete element modelling of the dynamic behaviour of non-spherical particulate materials. University of Newcastle upon Tyne, 275. Available at: <https://ethos.bl.uk/OrderDetails.do?uin=uk.bl.ethos.324869>
- Naeini, M. S. E. (2011). Discrete Element Modeling of Granular Flows in Vibrationally-Fluidized Beds. University of Toronto, 130. Available at: https://tspace.library.utoronto.ca/bitstream/1807/29716/17/EmamiNaeini_MohammadSaeid_201106_PhD_thesis.pdf
- Kol'man-Ivanov, E. E., Gusev, Yu. I., Karasev, I. N. et. al. (1985) Konstruirovaniye i raschet mashin himicheskikh proizvodstv. Moscow: Mashinostroeniye, 228–254. Available at: <https://www.twirpx.com/file/149553/>
- Verloka, I. I., Kapranova, A. B., Lebedev, A. E. (2014). Sovremennyye gravitatsionnyye ustroystva nepreryvnogo deystviya dlya smeshivaniya sypuchih komponentov. Inzhenerniy vestnik Dona, 4. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennyye-gravitatsionnyye-ustroystva-nepreryvnogo-deystviya-dlya-smeshivaniya-sypuchih-komponentov>
- Mizonov, V. E., Balagurov I. A. (2016). Teoreticheskie osnovy modelirovaniya i rascheta formirovaniya mnogokomponentnyh smesey raznorodnyh dispersnyh materialov. Ivanovo: IGEU, 108.
- Makarov, Yu. I. (1973). Apparaty dlya smesheniya sypuchih materialov. Moscow: Mashinostroeniye, 216. Available at: <https://www.twirpx.com/file/1317803/>
- Selivanov, Yu. T., Pershin, V. F. (2004). Raschet i proektirovaniye tsirkulyatsionnyh smesiteley sypuchih materialov bez vnutrennih peremeshivayushchih ustroystv. Moscow: «Izdatel'stvo mashinostroeniye-1», 120. Available at: <https://www.tstu.ru/book/elib/pdf/2004/selivan.pdf>
- Shubyn, Y. N., Svyrydov, M. M., Tarov, V. P. (2005). Tekhnologicheskiye mashiny i oborudovaniye. Sypuchie materialy i ikh svoystva. Tamb: Yzd-vo Tamb. hos. tekhn. un-ta, 76.
- Pershyn, V. F., Odnolko, V. H., Pershyna, S. V. (2009). Pererabotka sypuchykh materyalov v mashynakh barabannoho typu. Moscow: Mashinostroeniye, 220.
- Weinekötter, R. (2016). Mixing of Solid Materials. Production, Handling and Characterization of Particulate Materials, 291–326. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-20949-4_9
- Delaney, G. W., Cleary, P. W., Hilden, M., Morrison, R. D. (2009). Validation of dem predictions of granular flow and separation efficiency for a horizontal laboratory scale wire mesh screen. Seventh International Conference on CFD in the Minerals and Process Industries CSIRO. Melbourne. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/43517493>
- Herrmann, H. J. (1993). Molecular dynamics simulations of granular materials. International Journal of Modern Physics C, 04 (02), 309–316. doi: <https://doi.org/10.1142/s012918319300032x>
- Ferrara, G., Preti, U., Schena, G. D. (1987). Computer-aided Use of a Screening Process Model. APCOM 87. Proceeding of the Twentieth International Symposium on the Application of Computers and Mathematics in the Mineral Industries. Vol. 2: Metallurgy. Johannesburg, 153–166. Available at: <https://www.saimm.co.za/Conferences/Apcom87Metallurgy/153-Ferrara.pdf>
- Dinesh, J. (2009). Modelling and Simulation of a Single Particle in Laminar Flow Regime of a Newtonian Liquid. Excerpt from the Proceedings of the COMSOL Conference. Bangalore. Available at: <https://www.comsol.com/paper/download/46302/Jammani.pdf>

19. Kanehl, P. (2010). Particle model of the Magnus effect. *Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald*, 35. Available at: https://physik.uni-greifswald.de/storages/uni-greifswald/fakultaet/mnf/physik/ag_schneider/Arbeiten/philippBA.pdf
20. Chen, N. H. (1979). An Explicit Equation for Friction Factor in Pipe. *Industrial & Engineering Chemistry Fundamentals*, 18 (3), 296–297. doi: <https://doi.org/10.1021/i160071a019>
21. Zhang, S., Kuwabara, S., Suzuki, T., Kawano, Y., Morita, K., Fukuda, K. (2009). Simulation of solid–fluid mixture flow using moving particle methods. *Journal of Computational Physics*, 228 (7), 2552–2565. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcp.2008.12.005>
22. Di Renzo, A., Di Maio, F. P. (2004). Comparison of contact-force models for the simulation of collisions in DEM-based granular flow codes. *Chemical Engineering Science*, 59 (3), 525–541. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ces.2003.09.037>
23. Broas, P. (2001). Advantages and problems of CAVE-visualisation for design purposes. *VTT Technical Research Centre of Finland*, 73–81.
24. Han, S. W., Lee, W. J., Lee, S. J. (2012). Study on the Particle Removal Efficiency of Multi Inner Stage Cyclone by CFD Simulation. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 6 (7), 386–390.
25. Satish, G., Ashok Kumar, K., Vara Prasad, V., Pasha, Sk. M. (2013). Comparison of flow analysis of a sudden and gradual change of pipe diameter using fluent software. *IJRET: International Journal of Research in Engineering and Technology*, 2 (12), 41–45. Available at: https://www.researchgate.net/publication/334761930_COMPARISON_OF_FLOW_ANALYSIS_OF_A_SUDDEN_AND_GRADUAL_CHANGE_OF_PIPE_DIAMETER_USING_FLUENT_SOFTWARE
26. Iguchi, M., Ilegbusi, O. J. (2014). *Basic Transport Phenomena in Materials Engineering*. Springer. doi: <https://doi.org/10.1007/978-4-431-54020-5>
27. Ivanets, V. N., Bakin, I. A., Belousov, G. N. (2002). Entropiyinyi podhod k otsenke protsessu smeshivaniya sypuchih materialov. *Hranenie i perarabotka sel'skohozyaystvennogo syr'ya*, 11, 16–18.
28. Bakin, I. A., Belousov, G. N., Sablinskiy, A. I. (2001). Modelirovanie protsessu smeshivaniya entropiyno – informatsionnym metodom. *Novye tehnologii v nauchnyh issledovaniyah v obrazovanii. Materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Ch. 1. Yurga*.
29. Aliev, E. B., Bandura, V. M., Pryshliak, V. M., Yaropud, V. M., Trukhanska, O. O. (2018). Modeling of mechanical and technological processes of the agricultural industry. *INMATEH*, 54 (1), 95–104. Available at: http://aliev.in.ua/doc/stat/2018/stat_2.pdf
30. Shevchenko, I. A., Aliev, E. B. (2018). Research on the photoelectric separator seed supply block for oil crops. *INMATEH*, 54 (1), 129–138. Available at: http://aliev.in.ua/doc/stat/2018/stat_3.pdf
31. Aliev, E. B., Yaropud, V. M., Dudin, V. Yr., Pryshliak, V. M., Pryshliak, N. V., Ivlev, V. V. (2018). Research on sunflower seeds separation by airflow. *INMATEH*, 56 (3), 119–128. Available at: http://aliev.in.ua/doc/stat/2018/stat_15.pdf
32. Aliiev, E., Gavrilenko, A., Tesliuk, H., Tolstenko, A., Koshul'ko, V. (2019). Improvement of the sunflower seed separation process efficiency on the vibrating surface. *Acta Periodica Technologica*, 50, 12–22. doi: <https://doi.org/10.2298/apt1950012a>
33. Aliev, E., Dudin, V., Gavrilenko, A., Ivlev, V. (2019). Modeling of the separation process of bulk material according to its physical and mechanical properties. *Ukrainian Black Sea region agrarian science*, 4, 114–121. Available at: <https://visnyk.mnau.edu.ua/statti/2019/n104/n104v4r2019aliev.pdf>
34. Koptev, A. A., Pershin, V. F., Sviridov, M. M., Tarov, V. P., Shubin, I. N. (2001). Osobennosti opredeleniya uglov vnutrennego treniya sypuchih materialov. *Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta*, 7 (1), 60–65.
35. Kupchenko, A. V., Yalpachik, O. V., Shpiganovich, T. A., Alekseenko, V. A. (2010). Opredelenie prochnostnyh karakteristik zerna. *Zernovi produkty i kombikormy*, 4, 18–22.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.216625
DEVISING A METHOD FOR ENSURING THE RELIABILITY OF FIRE CENTRIFUGAL PUMPS WHILE REDUCING THEIR WEIGHT AND DIMENSION CHARACTERISTICS BY OPTIMIZING THEIR STRUCTURAL ELEMENTS (p. 14–19)

Olena Vasiljeva

Lviv State University of Life Safety, Lviv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2921-1760>

Ivan Pasnak

Lviv State University of Life Safety, Lviv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8405-4625>

Artur Renkas

Lviv State University of Life Safety, Lviv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5518-3508>

An algorithm for calculating the strength and reliability of centrifugal fire pump housings has been developed, aimed at determining the optimal mass-dimension parameters of centrifugal fire pumps. To this end, a method has been devised for determining the main indicators of reliability, an optimization mathematical model has been built, and an algorithm for solving the optimization problem using the Monte Carlo method has been developed. When devising a method for determining the main reliability indicators of centrifugal fire pumps, the strength and kinematic parameters have been taken into consideration, as well as an economic indicator of reliability and the costs of ensuring reliability. These indicators make it possible to establish the optimal consumption of materials for the manufacture of structural elements of centrifugal fire pumps that ensure their strength and reliability. When building the optimization mathematical model, a pump weight minimization was used as the objective function while the applied difference criterion makes it possible to take into consideration the economic indicator in the manufacture of centrifugal fire pumps and to reduce their cost. It was established that the principal indicator that affects the weight of a pump and the cost of its manufacture is the thickness of the pump housing wall. Based on the developed optimization mathematical model, the flowcharts of the algorithms have been constructed for solving it using the Monte Carlo method. The calculation results showed that the width of the PN-40 UV pump housing can be reduced by 1.18 from the rated one. Applying the optimization mathematical model in the process of designing fire centrifugal pumps makes it possible to reduce the pump weight by 9–11 % while ensuring high reliability and reducing the cost of its production by 10 %.

Keywords: fire centrifugal pump, housing, optimization mathematical model, reliability of fire pumps.

References

- Hulida, E., Pasnak, I., Vasileva, O. (2017). Enhancing the reliability of the fire centrifugal pump PN-40UV. *Vibratsiyi v tekhnitsi ta tekhnolohiyakh*, 4, 48–53.
- Schmit, L. A. (1960). *Structural design by systematic synthesis*. 2nd Conference on Electronic Computation. Pittsburgh, 105–132.
- Shelofast, V. V. (2000). *Osnovy proektirovaniya mashin*. Moscow: Izd-vo APM, 472.
- Vasyliieva, O. E. (2013). Vyznachennia rozmiriv konstruktyvnykh elementiv korpusiv reduktoriv pryvodiv pidiomno-transportnoho ustatkuvannya v zalezhnosti vid yikh napruzhenno-deformovanoho stanu. *Pidiomno-transportna tekhnika*, 3, 108–121.

5. Vasylieva, O. E. (2010). Bahatoparmetrychnyi syntez konstruktyvnykh elementiv korpusiv tsylindrychnykh reduktoriv. *Visnyk NTU «KhPI»*, 27, 38–44.
6. Vasylieva, O. E. (2009). Syntez konstruktyvnykh elementiv korpusiv tsylindrychnoi zubchastoi peredachi. 9-yi Mizhnarodnyi symposium ukrainskykh inzheneriv-mekhanikov. Lviv, 13–15.
7. Khaing, H., Lwin, Y. M., Lwin, Y. (2019). Design and Calculation of Centrifugal Pump (Impeller) For Water Pumping. *International Journal of Science, Engineering and Technology Research*, 8 (7), 321–324. Available at: <http://ijsetr.org/wp-content/uploads/2019/07/IJSETR-VOL-8-ISSUE-7-321-324.pdf>
8. Cho, K. S., San, A. T., Thu, S. M. (2019). Design of Centrifugal Pump Volute-Type Casing. *International Journal of Science and Engineering Applications*, 8 (8), 325–330. doi: <https://doi.org/10.7753/ijsea0808.1016>
9. Pavlenko, I., Trojanowska, J., Gusak, O., Ivanov, V., Pitel, J., Pavlenko, V. (2018). Estimation of the Reliability of Automatic Axial-balancing Devices for Multistage Centrifugal Pumps. *Periodica Polytechnica Mechanical Engineering*, 63 (1), 52–56. doi: <https://doi.org/10.3311/ppme.12801>
10. Skrzypacz, J., Bieganowski, M. (2018). The influence of micro grooves on the parameters of the centrifugal pump impeller. *International Journal of Mechanical Sciences*, 144, 827–835. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2017.01.039>
11. Pourgol-Mohammad, M., Makarachi, P., Soleimani, M., Ahmadi, A. (2017). Reliability Enhancement of Centrifugal Pumps by Genetic Algorithm Optimization. *International Journal of COMADEM*, 20 (2), 23–30.
12. Wang, C., Shi, W., Wang, X., Jiang, X., Yang, Y., Li, W., Zhou, L. (2017). Optimal design of multistage centrifugal pump based on the combined energy loss model and computational fluid dynamics. *Applied Energy*, 187, 10–26. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.11.046>
13. Pronikov, A. S. (1978). *Nadezhnost' mashin*. Moscow: Mashinostroenie, 592.
14. Dziuba, L. F., Zyma, Yu. V., Liutyi, Ye. M. (2003). *Osnovy nadiynosti mashyn*. Lviv: Vyd-vo «Lohos», 204.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.216382
IMPLEMENTATION OF RAPID PROTOTYPING POLYLACTIC ACID USING 3D PRINTING TECHNOLOGY FOR EARLY EDUCATION APPLICATIONS (p. 20–26)

Dwi Hadi Sulistyarini

Brawijaya University, Malang, Indonesia

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2034-7178>

Debrina Puspita Andriani

Brawijaya University, Malang, Indonesia

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2805-9824>

Zefry Darmawan

Brawijaya University, Malang, Indonesia

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8438-0538>

Putu Hadi Setyarini

Brawijaya University, Malang, Indonesia

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5813-021X>

One of the technologies that are developing rapidly is 3D printing. 3D printing machines can create objects easily, quickly and in detail. There are three main steps that a 3D printing machine goes through, namely design, printing and finishing. 3D printers using polylactic acid are widely used in various types of fields such as industrial machinery, spacecraft, consumer goods, electronic components, vehicles, medical industry, toy industry and others.

In this research, we succeeded in making an educational game tool called Tetris with the 3D printing method using polylactic acid filaments. The process of consistently creating 3-dimensional objects from digital files by arranging many layers of thin metal in succession is called 3D printing. Using additive manufacturing technology, 3D digital designs are turned into virtual products by sequentially depositing metals. 3D printing provides reasonable feasibility to meet various parameters based on the engineering arena. By utilizing the advantages of PLA material, which has good tensile strength, good surface quality, is available in various colors and user-friendly, educational game tools are produced that have the advantage of being attractive, light, strong and easy to play. That way, making educational game tools using 3D printing made from PLA can solve the problems with previous educational game tools, which are not easy to play and less attractive to early childhood. Educational games that have been made in this study can be used as a platform for learning children at the kindergarten to elementary school levels. The way to play this educational game Tetris is by attaching shapes to the main part of Tetris and matching them with other shapes, just like playing a puzzle where each shape that is installed must match the other shapes.

Keywords: 3D printing, educational game tools, polylactic acid.

References

1. Ligon, S. C., Liska, R., Stampfl, J., Gurr, M., Mülhaupt, R. (2017). Polymers for 3D Printing and Customized Additive Manufacturing. *Chemical Reviews*, 117 (15), 10212–10290. doi: <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.7b00074>
2. Shahi, S., Baljinder (2016). *Advanced Manufacturing Teknik (Printing 3D)*. Master's of Technology CAD/CAM Department of Mechanical Engineering, BBSBEC Fatehgarh Sahib, 4.
3. Muazzomi, N. (2017). Pengembangan Alat Permainan Edukatif Pendidikan Anak Usia Dini Melalui Aplikasi Microsoft Powerpoint. *Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi*, 17 (1), 133–142.
4. Cooper, K. (2001). *Rapid Prototyping Technology*. CRC Press, 248. doi: <https://doi.org/10.1201/9780203910795>
5. Aisyah, S. (2008). *Perkembangan dan konsep dasar pengembangan anak usia dini*. Jakarta: Universitas Terbuka.
6. Hasnida (2015). *Media Pembelajaran Kreatif Mendukung Pembelajaran Pada Anak Usia Dini*. Jakarta: PT Luxima Metro Media, 186.
7. Vitaningsih, A. V. (2016). *Game Edukasi sebagai Media Pembelajaran Pendidikan Anak Usia Dini*. *Jurnal INFORM*, 1 (1).
8. Sloten, V. (2000). Computer Aided Design of Prostheses. *Industrial Ceramics*, 20 (2), 109–111.
9. Kamran, M., Saxena, A. (2016). A Comprehensive Study on 3D Printing Technology. *MIT International Journal of Mechanical Engineering*, 6 (2), 63–69.
10. Widyanto, S. (2012). Pengembangan teknologi rapid prototyping untuk pembuatan produk-produk multi material. *J@ti Undip: Jurnal Teknik Industri*, 3 (1), 10–16.
11. Johansson-Sköldberg, U., Woodilla, J., Çetinkaya, M. (2013). Design Thinking: Past, Present and Possible Futures. *Creativity and Innovation Management*, 22 (2), 121–146. doi: <https://doi.org/10.1111/caim.12023>
12. Jurrrens, K. K. (1999). Standards for the rapid prototyping industry. *Rapid Prototyping Journal*, 5 (4), 169–178. doi: <https://doi.org/10.1108/13552549910295514>
13. Lubis, S., Djamil, S., Yolanda, Y. (2016). Pengaruh orientasi objek pada proses 3d printing bahan polymer pla dan abs terhadap kekuatan tarik dan ketelitian dimensi produk. *SINERGI*, 20 (1), 27. doi: <https://doi.org/10.22441/sinergi.2016.1.005>
14. Rolina, N. (2012). *Alat Permainan Edukatif Anak Usia Dini*. Yogyakarta: Penerbit Ombak.
15. Alsoufi, M. S., Elsayed, A. E. (2017). How Surface Roughness Performance of Printed Parts Manufactured by Desktop FDM 3D Printer

with PLA+ is influenced by Measuring Direction. *American Journal of Mechanical Engineering*, 5 (5), 211–222.

16. Balasubramanian, T., Saminathan, B. (2015). Use of Multimedia – As A Tool for Effective Learning. *International Journal of Scientific Research*, 4 (12), 18–19.
17. Arif, M. N., Sumbawati, M. S. (2016). Pengembangan Game Edukasi Interaktif pada Mata Pelajaran Komposisi Foto Digital Kelas XI di SMK Negeri 1 Surabaya. *Jurnal IT-EDU*, 1 (2), 28–36.
18. Khobir, A. (2009). Upaya Mendidik Anak Melalui Permainan Edukatif. *Forum Tarbiyah*, 7 (2), 195–208.
19. Brown, T., Wyatt, J. (2010). Design Thinking for Social Innovation. *Development Outreach*, 12 (1), 29–43. doi: https://doi.org/10.1596/1020-797x_12_1_29
20. Excell, J. (2013). The rise of additive manufacturing. *The Engineer*.
21. Serra, T., Planell, J. A., Navarro, M. (2013). High-resolution PLA-based composite scaffolds via 3-D printing technology. *Acta Biomaterialia*, 9 (3), 5521–5530. doi: <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2012.10.041>
22. Taufik, M., Jain, P. K. (2013). Role of build orientation in layered manufacturing: a review. *International Journal of Manufacturing Technology and Management*, 27 (1/2/3), 47. doi: <https://doi.org/10.1504/ijmtm.2013.058637>
23. Zulkifli, A. (2007). Rapid Prototyping Teknologi: Aplikasi pada Bidang Medis. *Jurnal TeknikA*, 27 (3), 78–83.
24. Yan, L., Han, X. (2016). 3-Dimensional Printing Rapid Prototyping for Intracranial Aneurysm Coiling: A Good Example of Precise Medicine. *World Neurosurgery*, 86, 8. doi: <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2015.06.051>
25. Chua, C. K., Leong, K. F., Lin, C. S. (2003). *Rapid Prototyping. Principles and Applications*. World Scientific Publishing Co Pte Ltd, 448. doi: <https://doi.org/10.1142/5064>
26. Jacobs, P. F. (1992). *Rapid Prototyping & Manufacturing: Fundamentals of Stereolithography*. Society of Manufacturing Engineers, 434.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.212820
DEVELOPMENT OF TECHNOLOGICAL RESTRICTIONS WHEN OPERATING DISC POLYMER-ABRASIVE BRUSHES (p. 27–33)

Pavlo Tryshyn

Zaporizhzhia Polytechnic National University,
Zaporizhzhia, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3301-5124>

Natalia Honchar

Zaporizhzhia Polytechnic National University,
Zaporizhzhia, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6040-0394>

Eduard Kondratiuk

Zaporizhzhia Machine-building Design
Bureau «Ivchenko-Progress», Zaporizhzhia, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2672-7174>

Dmytro Stepanov

Zaporizhzhia Polytechnic National University,
Zaporizhzhia, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1780-3611>

Polymer-abrasive brush rotating tools are increasingly used for finishing operations in automated manufacturing. Given this, studying the process of their fibers' wear has become important; and such a type of wear as the detachment of a whole fiber at the point of fixing has not been investigated in detail up to now. This phenomenon can lead to the disruption of stable equipment operation and the catastrophic wear of brushes. Therefore, it is a relevant task to

search for and identify those limitations that could prevent fibers from detachment.

This study involved the disc and cylindrical polymer-abrasive brushes as the most common in production.

The current study has established that the detachment occurs at an unfavorable combination of the processing regimes and brushes' parameters at rotations close to the limits specified by the manufacturer.

When checking the temperature level at the fiber anchoring point, it was determined that the heating of the fibers in this region during operation was not enough to melt the polymeric base of the fibers and detach them.

It has been established that the reason for the detachment of fibers is the accumulation of fatigue changes, which significantly accelerate under the limit modes. Studying the cyclical durability of fibers has made it possible to determine the ratios of critical processing modes to the tool parameters, which lead to the fatigue destruction of fibers at their fixing point.

The following technological restrictions have been defined to warrant that fibers are not detached:

– it is not recommended to use circumferential cutting speeds exceeding 40 m/s;

– the tension during operation should not exceed 10 % of the fibers' overhang magnitude.

These limitations ensure the integrity of the tool, its high durability, as well as the stability of the process of parts' finishing machining under an automated mode.

Keywords: polymer-abrasive disc brush, fiber detachment, fiber temperature, cyclical durability.

References

1. Dimov, Y., Podashev, D. (2020). Rounding sharp edges of machine parts with elastic polymer abrasive wheels. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 709, 022056. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/709/2/022056>
2. Pini, B. E., Yakovlev, D. R. (2009). O nekotoryh tehnologicheskikh vozmozhnostyah shchetok s abrazivno-polimernym voloknom. *Izvestiya MGTU «MAMI»*, 1 (7), 148–151.
3. Fultz, D. M. (2016). Abrasive filament brush deburring of powdered metal components. Available at: <http://cdn.thomasnet.com/ccp/00680348/49643.pdf>
4. Starý, M., Novotný, F., Horák, M., Stará, M. (2018). Possibilities of robot application for glass mechanical frosting by an abrasive composite brush. *Procedia CIRP*, 77, 134–138. doi: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.08.251>
5. Fultz, D. M. (2013). Fiber abrasive finishing systems for end-deburring extruded aluminum profiles. *Metal Finishing*. Available at: <https://cdn.thomasnet.com/ccp/00680348/49640.pdf>
6. Stango, R. J. (1999). Filamentary brushing tools for surface finishing applications. *Metal Finishing*, 97 (1), 83–92. doi: [https://doi.org/10.1016/s0026-0576\(99\)80006-3](https://doi.org/10.1016/s0026-0576(99)80006-3)
7. Kannan, S., Kui, L. (2019). Experimental investigation of surface integrity during abrasive edge profiling of nickel-based alloy. *Journal of Manufacturing Processes*, 39, 40–51. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2019.01.052>
8. Provolocskij, A. E., Negroob, S. L. (2004). Technological possibilities of the polimer-abrasiv tool. *Naukovi pratsi Donetskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu. Seriya: mashynobladnannia*, 1 (71), 125–133.
9. Abrashkevich, Yu. D., Oglobinskiy, V. A. (2009). Novaya oblast' primeneniya polimerno-abrazivnyh shchetok. *Montazhnye i spetsial'nye raboty v stroitel'stve*, 6, 10–14.
10. Kondratiuk, E., Honchar, N., Stepanov, D. (2016). Measurement of Non-rigid Tools Action Force During Finishing. *International Scientific and Practical Conference «WORLD SCIENCE»*. Dubai, 72–76.

11. Raymond, N., Soshi, M. (2016). A Study on the Effect of Abrasive Filament Tool on Performance of Sliding Guideways for Machine Tools. *Procedia CIRP*, 45, 223–226. doi: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.02.169>
12. Honchar, N., Kondratiuk, E., Stepanov, D., Tryshyn, P., Khavkina, O. (2019). Estimation of Temperature Levels in the Area of Polishing with Polymer-Abrasive Brushes. *Advances in Design, Simulation and Manufacturing II*, 95–103. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-22365-6_10
13. Machyshyn, G. (2014). Determination of reasonable applications for polymer-abrasive tools. *Vestnik Har'kovskogo natsional'nogo avtomobil'no-dorozhnoho universiteta*, 65-66, 117–122.
14. Vnukov, Yu. N., Gonchar, N. V., Stepanov, D. N. (2015). Issledovanie temperatury razmyagcheniya i plavleniya volokon razlichnyh instrumentov. *Rezanie i instrumenty v tehnologicheskikh sistemah*, 85, 42–47.
15. Overholser, R. W., Stango, R. J., Fournelle, R. A. (2003). Morphology of metal surface generated by nylon/abrasive filament brush. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 43 (2), 193–202. doi: [https://doi.org/10.1016/s0890-6955\(02\)00112-8](https://doi.org/10.1016/s0890-6955(02)00112-8)
16. Gonchar, N. V., Tryshyn, P. R. (2019). Complex evaluation of factors influencing the measurement wear of disk polymer-abrasive brushes. *Vestnik dvigatelestroeniya*, 1, 89–95.
17. Abrashkevych, Yu., Machyshyn, G. (2016). Effective use of the polymer-abrasive brush. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho avtomobil'no-dorozhnoho universytetu*, 73, 59–62.
18. Osborn product catalog 2019. Available at: <http://cataleap.com/blackhawk-flip/books/Osborn-International/Osborn-International-Finish-First-Product-Catalog-2019/index.html>
19. Lessmann catalogue (2020). Available at: <https://www.lessmann.com/index.php/en/content/download/471/7176/file/Katalog%202020%20GB.pdf>
20. Abtex capabilities & products for brush catalog. Available at: https://www.abtex.com/wp-content/uploads/2019/06/Abtex_CapabilitiesProducts-Brush_Catalog.pdf
21. Xebec brush product catalog. Available at: https://www.xebec-tech.com/de/support/dpd60000000cmi-att/cf_cup_en_02.pdf
22. Weiler Full Line Catalog (2019). Available at: https://www.weilera-brasives.com/UserFiles/Resources/Products/WC/24/4_/WC244_FullLine_Catalog_D.pdf
23. Honchar, N., Kachan, O., Stepanov, D., Kuchuhurov, M., Khavkina, O. (2018). Measurement of Non-rigid Tools Action Force During Finishing. *Advances in Design, Simulation and Manufacturing*, 23–32. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-93587-4_3

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.216523

DETERMINING THE DEFORMED STATE IN THE PROCESS OF ROLLING CONICAL SHELLS WITH A FLANGE (p. 34–41)

Oleg Markov

Donbass State Engineering Academy, Kramatorsk, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9377-9866>

Volodymyr Panov

PJSC Energomashspetsstal, Kramatorsk, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2373-319X>

Sergii Karnaukh

Donbass State Engineering Academy, Kramatorsk, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2878-4065>

Anton Khvashchynskyi

PJSC Energomashspetsstal, Kramatorsk, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2690-8354>

Roman Zhytnikov

Donbass State Engineering Academy, Kramatorsk, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0540-8465>

Volodymyr Kukhar

Pryazovskiy State Technical University, Mariupol, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4863-7233>

Maksym Kosilov

Donetsk Regional State Administration, Kramatorsk, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6412-3366>

Pavlo Rizak

PJSC «Novokramatorsky Mashinostroitelny Zavod»,
Kramatorsk, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2574-2521>

Obtaining conical shells by forging is an important and relevant task in energy and heavy engineering. Existing processes of their manufacture come down to simplifying the configuration of such billets. The result is the increased material's consumption while the internal fiber is cut during machining, which also leads to a decrease in mechanical properties. A new forging technique necessitated a study into the shape change of the billet and the distribution of deformations in the process of rolling. A finite-element method was used to investigate the process of rolling out the step hollow billets. Based on the study results, the forging's taper was established, obtained during the forging process. A research procedure involving the finite-element method was devised to study the operation of conical shells' rolling, which made it possible to determine a change in the shape and size of a hollow forging when rolled out by a step tool. A parameter has been proposed to quantify the formation of taper in the process of rolling a billet with a flange. Based on the study results, a step-wise distribution of the intensity of logarithmic deformities in the body of a forging was established when conical shells were rolled out. It was found that the step deformation leads to an increase in the uneven distribution of deformations on the part of the protrusion and ledge. Maximum deformations of 1.0...1.2 occur at the inner and outer surfaces of the step billet's protrusion. Dependences of the shape change in a step billet for the investigated ratios of sizes and rolling modes have been established. It was found that the maximum taper is obtained at a deformation degree of 15 %. It was determined that the degree of compression in the ledge and protrusion is leveled after 3 deformation runs of the step billet.

Keywords: forging, rolling, taper, conical shell, ring, hollow forging, step striker.

References

1. Markov, O., Gerasimenko, O., Aliieva, L., Shapoval, A., Kosilov, M. (2019). Development of a new process for expanding stepped tapered rings. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (1 (98)), 39–46. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.160395>
2. Markov, O. E. (2012). Forging of large pieces by tapered faces. *Steel in Translation*, 42 (12), 808–810. doi: <https://doi.org/10.3103/s0967091212120054>
3. Markov, O. E., Perig, A. V., Zlygoriev, V. N., Markova, M. A., Kosilov, M. S. (2017). Development of forging processes using intermediate workpiece profiling before drawing: research into strained state. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 39 (11), 4649–4665. doi: <https://doi.org/10.1007/s40430-017-0812-y>
4. Markov, O. E., Gerasimenko, O. V., Shapoval, A. A., Abdulov, O. R., Zhytnikov, R. U. (2019). Computerized simulation of shortened ingots with a controlled crystallization for manufacturing of high-quality forgings. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 103 (5-8), 3057–3065. doi: <https://doi.org/10.1007/s00170-019-03749-4>
5. Markov, O. E., Gerasimenko, O. V., Kukhar, V. V., Abdulov, O. R., Ragulina, N. V. (2019). Computational and experimental modeling

- of new forging ingots with a directional solidification: the relative heights of 1.1. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 41 (8). doi: <https://doi.org/10.1007/s40430-019-1810-z>
6. Sang-Hun, O., Jung, N., Seog-Ou, Ch., Dong-Hee, L. (2011). A Study on the Fabrication of a Large Hollow Ingot by CAE. In 18th International Forgemasters Meeting, Market and Technical Proceedings. Pittsburgh, 179–182.
 7. Girardin, G., Jobard, D., Perdriset, F., Tollini, P., Poitraul, I., Gingell, A. (2011). Hollow Ingot: Thirty Years of Use to Control Segregation and Quality for Nuclear and Petrochemical Large Shells. In 18th International Forgemasters Meeting, Market and Technical Proceedings. Pittsburgh, 170–174.
 8. Skripnik, S. V., Chernega, D. F. (2009). Progressivnaya tehnologiya izgotovleniya polyh elektroshlakovykh zagotovok dlya raskatnykh kolets i obechaek. *Protsessy lit'ya*, 5, 57–61.
 9. Dub, A. V., Levkov, L. Ya., Shurygin, D. A., Kriger, Yu. N., Markov, S. I., Orlov, S. V. et. al. (2014). Prospects for production of NPP equipment using electroslag refining. *Voprosy atomnoy nauki i tekhniki. Seriya: obespechenie bezopasnosti AES*, 34, 11–18.
 10. Doub, A. V., Doub, V. S., Kriger, Y. N., Levkov, L. Ya., Orlov, S. V., Shurygin, D. A. et. al. (2012). Electroslag remelting as the method of radically quality and properties improving of the superduty products for modern engineering. Technical requirements and new solutions. *Tyazheloe mashinostroenie*, 6, 2–6.
 11. Kal'chenko, P. P., Bykov, V. P., Tsyvashchenko, N. A., Burmistrov, V. G., Babaskin, A. A., Shishmarev, A. I., Pimenov, G. A. (1978). A. s. No. 712185 SSSR. *Ustroystvo dlya raskatki polyh izdeliy na presse*. No. 2636655/25-27; declared: 07.03.1978; published: 30.01.1980, Bul. No. 4.
 12. Stankov, Yu. M., Kalchenko, P. P., Kyrpychenko, A. V., Oleshko, V. M. (2001). Pat. No. 47648 UA. *Sposib vyhotovlennia velykohabarytnykh bandazhiv*. No. 2001064464; declared: 26.06.2001; published: 15.07.2002, Bul. No. 7.
 13. Aref'ev, V. D., Pakalo, A. V., Petunin, Yu. A. (1981). A. s. No. 1006033 A SSSR. *Ustroystvo dlya raskatki kol'tsevykh pokovok*. No. 3369803/25-27; declared: 31.12.1981; published: 23.03.1983, Bul. No. 11.
 14. Shlyakman, B. M., Belova, L. P., Utkin, A. A. (2001). Pat. No. 2207213 RF. *Sostavnaya opravka dlya raskatki kolets*. No. 2001110190/02; declared: 13.04.2001; published: 20.06.2003, Bul. No. 18.
 15. Suzuki, K., Sato, I., Tsukada, H. (1994). Manufacturing and material properties of ultralarge size forgings for advanced BWRPV. *Nuclear Engineering and Design*, 151 (2-3), 513–522. doi: [https://doi.org/10.1016/0029-5493\(94\)90192-9](https://doi.org/10.1016/0029-5493(94)90192-9)
 16. Ingersoll, D. T. (2015). Small modular reactors (SMRs) for producing nuclear energy: international developments. *Handbook of Small Modular Nuclear Reactors*, 27–60. doi: <https://doi.org/10.1533/9780857098535.1.27>
 17. Kowalski, J., Hoderny, B., Malinowski, Z. (1987). Experimental investigation of the strain state in the ring-forging process. *Journal of Mechanical Working Technology*, 14 (3), 309–324. doi: [https://doi.org/10.1016/0378-3804\(87\)90016-7](https://doi.org/10.1016/0378-3804(87)90016-7)
 18. Temkin, B. O., Raginskiy, E. L., Kasatonov, V. F., Petrov, V. A., Kotelkin, A. V. (1977). A. s. No. 685407 SSSR. *Sposob raskatki kolets i opravka dlya ego osushchestvleniya*. No. 2471187/25-27; declared: 11.04.1977; published: 15.09.1979, Bul. No. 34.
 19. Temkin, B. O., Kasatonov, V. F., Petrov, V. A. et. al. (1983). *Kovka kol'tsevykh pokovok s ispol'zovaniem volnistoy opravki*. *Kuznechno-shtampovoye proizvodstvo*, 9, 15–16.
 20. Solontsov, S. S., Al'shits, M. Ya. (1970). *Formoizmenenie kol'tsevykh zagotovok pri goryachey raskatke pokovok s tavrovym profilom poperechnogo sечeniya*. *Kuznechno-shtampovoye proizvodstvo*, 2, 1–4.
 21. Rao, M. N. (2011). *Materials Development for Indian Nuclear Power Programme: an Industry Perspective*. *Energy Procedia*, 7, 199–204. doi: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2011.06.026>
 22. *Teploustoychivye radiatsionno-stoykie hromomolibdenovanadievye stali marok 15X2MFA-A mod. A i 15X2MFA-A mod. B*. NITS «Kurchatovskiy institut». Available at: <http://www.crismprometey.ru/science/steel/thermostable-radiation-resistant-steel-15H2MFA.aspx>
 23. Markov, O. E., Oleshko, M. V., Mishina, V. I. (2011). Development of Energy-saving Technological Process of Shafts Forging Weighing More Than 100 Tons without Ingot Upsetting. *Metallurgical and Mining Industry*, 3 (7), 87–90. Available at: <https://www.metaljournal.com.ua/assets/Uploads/attachments/87Markov.pdf>
 24. Markov, O., Gerasimenko, O., Khvashchynskiy, A., Zhytnikov, R., Puzyr, R. (2019). Modeling the technological process of pipe forging without a mandrel. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (1 (99)), 42–48. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.167077>
 25. Markov, O., Aliiev, I., Aliieva, L., Hrudkina, N. (2020). Computerized and physical modeling of upsetting operation by combined dies. *Journal of chemical technology and metallurgy*, 55 (3), 640–648. Available at: https://dl.uctm.edu/journal/node/j2020-3/23_19-275_p_640-648.pdf
 26. Markov, O., Kosilov, M., Panov, V., Kukhar, V., Karnaukh, S., Ragulina, N. et. al. (2019). Modeling and improvement of saddling a stepped hollow workpiece with a profiled tool. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (1 (102)), 19–25. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.183663>
 27. Hrudkina, N., Aliieva, L., Abhari, P., Markov, O., Sukhovirska, L. (2019). Investigating the process of shrinkage depression formation at the combined radial-backward extrusion of parts with a flange. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (1 (101)), 49–57. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.179232>
 28. Aliieva, L., Hrudkina, N., Aliiev, I., Zbankov, I., Markov, O. (2020). Effect of the tool geometry on the force mode of the combined radial-direct extrusion with compression. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (1 (104)), 15–22. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.198433>
 29. Zbankov, Ya. G., Tagan, L. V., Shkira, A. V. (2011). *Kovka konicheskikh obechaek*. *Nauchnyy vestnik Donbasskoy gosudarstvennoy mashinostroytel'noy akademii*, 2 (8E), 8–14.
 30. Biba, N. V., Gladkov, Yu. A., Belokurov, O. A. (2008). *Primenenie programmy modelirovaniya protsessov OMD QFORM dlya obucheniya i issledovatel'skoy raboty v universitetah. Udskonalennia protsesiv i obladnannia obrobky tyskom v mashynobuduvanni ta metalurhii: tematykh. zb. nauk. prats. Kramatorsk: DDMA*, 9–14.
 31. Zhenshan, C., Guangsheng, R., Binqye, X. et. al. (2003). Condition of closing voids in solid cylinders during hot forging. *Tsinghua Univ. Sci. and Technol.*, 2, 227–229.
 32. Weides, G., Blaes, N., Bokelmann, D. (2008). Optimisation of the forging process of profiled discs for low pressure turbine rotors by FEM simulation. 17 International forgemasters meeting. Santander, 212–215.
 33. Bocharov, Yu. A., Balaganskiy, V. I. (2002). *Vtoroy Evropeyskiy seminar po modelirovaniyu protsessov v obrabotke davleniem*. *Kuznechno-shtampovoye proizvodstvo*, 9, 38–41.
 34. Ivanov, K. M., Shevchenko, V. S., Yurgenson, E. E. (2000). *Metod konechnykh elementov v tehnologicheskikh zadachah*. Sankt-Peterburg: Izd-vo PIMash, 224.
 35. Ovcharenko, V. A., Podliesnyi, S. V., Zinchenko, S. M. (2008). *Osnovy metodu kintsevykh elementiv i yoho zastosuvannia v inzhenernykh rozrakhunkakh*. Kramatorsk: DDMA, 380.
 36. Segerlind, L. (1979). *Primenenie metoda konechnykh elementov*. Moscow: Mir, 392.

37. Zenkevich, O. (1975). Metod konechnykh elementov v tehnikе. Moscow: Mir, 541.
38. Taupek, I. M., Kabulova, E. G., Polozhentsev, K. A., Lisovskiy, A. V., Makarov, A. V. (2015). Obshchee rukovodstvo po rabote s inzhenernym programmnyim kompleksom DEFORM. Stariy Oskol: OOO IPK «Kirillitsa», 217.
39. Chuhleb, V. L., Tumko, A. N., Ashkelyanets, A. V. (2011). Osnovy razrabotki tehnologicheskikh protsessov obrabotki davleniem staley i splavov s prognoziruемым urovnem kachestva metalloproduktcii. Vestnik NTU «KhPI», 47, 110–120.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.216543

IMPROVING A PROCEDURE FOR ESTIMATING THE SUITABILITY OF RAW MATERIAL MIXTURES FOR MOLDING ARTICLES BY A SEMI-DRY PRESSING METHOD BASED ON THE ANALYSIS OF COMPRESSION CURVES (p. 42–54)

Oleksandr Savchenko

Kharkiv National University
of Civil Engineering and Architecture, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4210-5890>

Oleksandr Krot

Kharkiv National University
of Civil Engineering and Architecture, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0291-9865>

Vyacheslav Butskiy

Kharkiv National University
of Civil Engineering and Architecture, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6735-7854>

Olga Krot

Kharkiv National University
of Civil Engineering and Architecture, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2376-4981>

Larisa Butska

Kharkiv National University
of Civil Engineering and Architecture, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1496-7004>

This paper has proposed a simplified procedure for the rapid assessment of the suitability of small-scale articles made from various raw mixtures (hereafter referred to as mixtures) for semi-dry pressing (SP) at molding presses, which could employ fillers composed of slag, ash, dust, and other industrial waste, whose properties are heterogeneous. The procedure is based on an assessment of the degree of negative impact on the quality indicators of articles due to the error of their density $\Delta\rho \geq \pm 2.5\%$, associated with the imperfection of bulk dosing devices that the SP molding presses are equipped with. It has been established that the mixtures can be graded on the basis of the steepness of a compression curve (CC) – the dependence $q_i = f(\rho_i)$, where q_i and (ρ_i) are the current values of pressure (in MPa) and density of the mixture array (in g/cm^3). A criterion applied to define the mixture's suitability to SP is a multiplier b (in cm^3/g) included in the dependence. It is shown that the mixture of type I (at $b \leq 8$) is suitable for SP at the multi-cavity molding presses. The mixture of type III (at $b > 12$) is problematic; its composition must be adjusted to re-determine b . The mixture of type II (at $b = 8...12$) requires additional research, proposed to be carried out in two stages. The first stage implies a low-cost determination of the dependence of the strength of SP samples on pressure $\sigma = f(q)$ and testing the minimum strength σ_{\min} , as well as for the criteria of steepness K and permissible pressure q_y . The ranges of K and q_y have been determined, in which a more laborious second stage is needed to check for the absence of

an «overpressing» defect. If all stages of the tests are successful, the mixture belongs to type I; if not – to type III. Techniques to improve the suitability of the mixtures to SP have been considered. A promising technique has proven to be the treatment of the mixture in a high-speed roller-type activator, which simultaneously reduces both the CC steepness of the activated mixture and the required pressure of pressing. The study results could expand the application scope of anthropogenic products by utilizing them in the mixtures for SP.

Keywords: semi-dry pressing, pressure, pressing curve, dosing error, raw mixtures, suitability check.

References

1. Rekomendatsii po podboru sostavov tyazhelykh i melkozemistykh betonov (k GOST 27006-86). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200062644>
2. Tovazhnianskyi, L. L., Shapovov, V. P., Moiseiev, V. F., Troshyn, O. H., Manoilo, Ye. V., Manoilo, Yu. O. et. al. (2011). Mashyny ta aparaty u khimichnykh, kharchovykh i pererobnykh vyrobnytstvakh. Kharkiv: Kolehium, 606.
3. BS EN 772-1:2011. Methods of test for masonry units – Part 1: Determination of compressive strength (2011). British Standards Institute (BSI).
4. EN 771-1:2003+A1:2005. Specification for masonry units – Part 1: Clay masonry units; German version.
5. Engblom, N. (2012). Segregation of powder mixtures in silos with particular reference to dry mineral-based construction materials. Abo Akademi University. Available at: https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/74789/engblom_niklas.pdf?sequence=2&is-Allowed=y
6. Tang, P., Puri, V. M. (2004). Methods for Minimizing Segregation: A Review. Particulate Science and Technology, 22 (4), 321–337. doi: <https://doi.org/10.1080/02726350490501420>
7. Zatloukal, Z., Šklubalová, Z. (2008). Drained Angle of Free-Flowable Powders. Particulate Science and Technology, 26 (6), 595–607. doi: <https://doi.org/10.1080/02726350802501369>
8. Beakawi Al-Hashemi, H. M., Baghabra Al-Amoudi, O. S. (2018). A review on the angle of repose of granular materials. Powder Technology, 330, 397–417. doi: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2018.02.003>
9. GOST 30416-96. Soils. Laboratory testing. General requirements.
10. Patankar, A. N., Mandal, G. (1980). The Packing of Solid Particles: A Review. Transactions of the Indian Ceramic Society, 39 (4), 109–119. doi: <https://doi.org/10.1080/0371750x.1980.10840732>
11. Schulz, E. (1970). Geregeltel Pressvorganda und ihr Einbusss suf Steindruckfestigkeit Kalksandsteine. Spechsaal für keremic, class. Email silicate, 55, 193–202.
12. Ostapenko, M. A. (2000). Modelirovanie protsessov uplotneniya sypuchykh i poroshkovykh materialov. Tr. Donets. gos. teh. un-ta., 13, 174–178.
13. Vent, U., Remla, L., Teder, P. (1974). O prichinah razbrosa prochnosti silikatnogo kirpicha vnutri partii. Sb. trudov NIPsilikatobetona, 8, 120–127.
14. Luhinin, O. Ye. (2007). Statystyka. Kyiv: Tsentr uchbovoy literatury, 608.
15. StatSoft. Available at: <http://www.statsoft.ru/products>
16. Savchenko, O. H., Krot, O. Yu., Tymoshchenko, A. M., Butskiy, V. O. (2007). Osoblyvosti formuvannia resursozberihaiuchoi tsehly (PC-tsehly) metodom napivsukhoho presuvannia. Vestnyk Nats. tekhn. un-ta «KhPI», 26, 48–53. Available at: http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPI-Press/35386/1/vestnik_KhPI_2007_26_Savchenko_Osoblyvosti_formuvannia.pdf
17. Tymoshchenko, A. M., Krot, O. Yu., Savchenko, O. H., Pravednikov, V. I. (2004). Modeliuвання protsesiv ushchilnennia budivelnnykh sumishei z vykorystanniam kompresyynykh kryvykh. Naukovyi visnyk budivnytstva, 29, 85–93.

18. GOST R 57349-2016. Bricks and blocks. Compressive strength determination method.
19. Krot, A. (2012). Scientific principles of making equipment on the base of roll-type mechanical activators for brick manufacture. *Vestnik Har'kovskogo natsional'nogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta*, 57, 154–160.
20. Tymoshchenko, A. M., Savchenko, O. H., Krot, O. Yu. (2005). Rozrobka i analiz matematychnoi modeli protsesu napivsubkoho presuvannia tsehly. *Visnyk natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI». Tematychnyi vypusk «Khimiya, khimichna tekhnolohiia ta ekolohiia»*, 27, 94–98.
21. Titan 80 S odnokirpichnyy, odnostoronniy press. Available at: <https://www.youtube.com/watch?v=QhBnV3uCc-U>
22. Fedorov, H. D., Ruchka, A. V., Savchenko, O. H., Supriaha, A. V. (2016). Vplyv pokhybky dozuvannia na stalist tysku bahatohnidnykh hidravlichnykh presiv napivsubkoho presuvannia. *Naukovyi visnyk budivnytstva*, 83, 211–214.
23. Baláz, P. (Ed.) (2000). *Extractive Metallurgy of Activated Minerals*. Elsevier, 278. doi: [https://doi.org/10.1016/s1572-4409\(00\)x8001-7](https://doi.org/10.1016/s1572-4409(00)x8001-7)
24. Krot, A., Kolkov, R. P., Fedorov, G. D., Savchenko, A. G., Cloete, A. (2017). Pat. No. CN 106863578 (A). Butterfly-shaped roller mixer.
25. Krot, A., Ruchka, A., Savchenko, A., Krot, O., Supryaga, D. (2018). Analytical Modeling of Oscillations of Movable Operating Elements of a Roll-Drum Activator. *International Journal of Engineering & Technology*, 7 (4.3), 58. doi: <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.3.19552>
26. Vinnichenko, V., Krot, A., Vitsenko, N. (2016). Theoretical and experimental research into manufacturing of silicate products without thermal treatment. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (6 (83)), 29–36. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.79465>

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.217253
IDENTIFICATION OF FACTORS TO REDUCE THE ENERGY COSTS OF DISPERSING IN JETS (p. 55–62)

Larisa Gorobets

Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2835-9790>

Inna Verkhobina

Institute of Geotechnical Mechanics name by N. Polyakov of National Academy of Sciences of Ukraine, Dnipro, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2114-6554>

Volodymyr Biletskyi

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2936-9680>

Andrii Kryvenko

Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1599-9510>

Mykhailo Hryshchenko

Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9365-1886>

Oleksij Bulakh

Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0965-0053>

This paper reports the operational indicators for industrial-sized jet grinding plants (JGP). The dependences of specific energy consumption on productivity have been generalized. The technological patterns in the working process were considered in terms of reducing energy costs using the operation of gas-jet and steam-jet

mills at the Vilnohorsk Mining and Metallurgical Plant (VMMP) involved in crushing zircon to 60 μm as an example. The acoustic activity in the grinding area has been studied relative to the concentration of μ and in combination with the technological assessment of the mill's performance. A broadband piezo sensor was used in the assessment of acoustic emission (AE). It is shown that the acoustic activity of the grinding zone contains information about the effects of dispersion and energy costs for grinding, which makes it possible to estimate and minimize the specific energy costs. It has been established that the principal factors of JGP energy intensity are the initial temperature of the energy carrier, which sets the speed of the jet, and the concentration of solid phase in the jet, which changes the effects of dispersing. A technique has been proposed for the current assessment of energy costs in the working process of dispersion based on the experimental acoustic data and a pattern of the acoustic dimensional effect. The estimated acoustic indicators of the energy cost of a jet mill for the conditions of VMMP were derived. To reduce the energy cost of dispersion ($\gamma_s \approx 0.42 \text{ J/cm}^2$), the effect of adjusting the loading of jets to $\gamma_N \approx 1.8 \text{ J/pulse}$ is employed. Thus, this study has investigated the dispersal of solid loose material in jets with the involvement of acoustic information about the operation of jet mills, which makes it possible to comprehensively assess and minimize (optimize) the specific energy costs of grinding.

Keywords: jet mill, dispersion, dispersing, energy carrier temperature, solid-phase concentration, acoustic activity.

References

1. Gorobets, L. Zh. (1999). Mikroporoshki: tehnologiya i oborudovanie. *Zbahachennia korysnykh kopalyn*, 4 (45), 33–41.
2. Gorobets, V. I., Gorobets, L. Zh. (1977). *Novoe napravlenie rabot po izmel'cheniyu*. Moscow: Nedra, 182.
3. Gorobets, L. Zh. (2004). *Razvitie nauchnykh osnov izmel'cheniya tverdykh poleznykh iskopaemykh*. Dnepropetrovsk, 35.
4. Biletskyi, V. S. (Ed.) (2007). *Mala hirnycha entsyklopediya*. Vol. 2. Donetsk: Donbas, 141.
5. Llorente, A., Serrano, B., Baselga, J., Gedler, G., Ozisik, R. (2019). Jet Milling as an Alternative Processing Technique for Preparing Polysulfone Hard Nanocomposites. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2019, 1–8. doi: <https://doi.org/10.1155/2019/3501402>
6. Ghambari, M., Emadi Shaibani, M., Eshraghi, N. (2012). Production of grey cast iron powder via target jet milling. *Powder Technology*, 221, 318–324. doi: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2012.01.020>
7. Nakach, M., Authelin, J.-R., Corsini, C., Gianola, G. (2019). Jet milling industrialization of sticky active pharmaceutical ingredient using quality-by-design approach. *Pharmaceutical Development and Technology*, 24 (7), 849–863. doi: <https://doi.org/10.1080/10837450.2019.1608449>
8. Ivanov, A. A., Gorobets, V. I. (1974). A. s. No. 324069. Sposob avtomaticheskogo regulirovaniya protsesa izmel'cheniya v protivotochnoy gazostruynoy mel'nitse. No. 1876232/29-33; declared: 24.01.1974; published: 15.10.1974, Bul. No. 38.
9. Ivanov, A. A. et. al. (1972). Sposob avtomaticheskogo regulirovaniya protsesa gazostruynogo izmel'cheniya. A. s. No. 324069. *Byull. izobr.*, 2, 17.
10. Muzyka, L. V. (2016). *Razrabotka avtomatizirovannoy sistemy upravleniya rabotoy struynoy izmel'chitel'noy ustanovki*. *Zbahachennia korysnykh kopalyn*, 63 (104). Available at: <http://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/151422>
11. Hludeev, V. I., Uvarov, V. A., Karpachev, D. V., Yarygin, A. A. (2005). Pat. No. 49736 RF. *Struynaya mel'nitsa s samofuteruyushcheysoy kameroy pomola*. published: 10.12.2005.

12. Zhang, Z., Lin, J., Tao, Y., Guo, Q., Zuo, J., Lu, B. et al. (2018). A supersonic target jet mill based on the entrainment of annular supersonic flow. *Review of Scientific Instruments*, 89 (8), 085104. doi: <https://doi.org/10.1063/1.5039589>
13. Bogdanov, V. S., Uvarov, V. A., Bulgakov, S. B., Karpachev, D. V., Shopina, E. V. (2000). Pat. No. 2188077 RF. Countercurrent-type jet mill. No. 2000128609/03; declared: 16.11.2000; published: 27.08.2002. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37892874>
14. Serebryanik, I. A., Zolotuhina, D. A. (2014). Razvitie struynogo izmel'cheniya. *Materialy konferentsii posvyashchennoy 115-letiyu Natsional'nogo gornogo universiteta «Razvitie informatsionno-resursnogo obespecheniya obrazovaniya i nauki v gorno-metallurgicheskoy otrasli i transporte 2014»*. Dnepr. Available at: <http://sci-forum.net.ua/index.php/ru/konferentsii/arkhiv2/35-materialy-dirpsemmts-2014>
15. Akunov, V. I. (1995). Sovremennoe sostoyanie i tendentsii sovershenstvovaniya molotkovykh drobilok i mel'nits. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny*, 1, 11–13.
16. Akunov, V. I. (1967). *Struynye mel'nitsy*. Moscow: Mashinostroenie, 263.
17. Postnikova, I., Blinichev, V., Krawczyk, J. (2015). Jet mills. *Sovremennye naukoemkie tehnologii. Regional'noe prilozhenie*, 2 (42), 144–151. Available at: https://www.isuct.ru/e-publ/snt/sites/ru.e-publ.snt/files/2015/02/snt_2015_n02-144.pdf
18. Gorobets, L. Zh. (1995). *Fizicheskie osnovy prognozirovaniya tehnologii izmel'cheniya. Obogashchenie rud*, 4-5, 19–23.
19. Gorobets, L. Zh., Bovenko, V. N., Verhorobina, I. V. (1991). Issledovanie sinergeticheskikh effektov v protsesse dispergirovaniya neodnorodnykh tverdykh sred. V kn. *Sinergetika. Noveye tehnologii polucheniya i svoystva metallicheskikh materialov*. Moscow, 146.
20. Gorobets, L. Zh., Verhorobina, I. V. (2003). Rezul'taty akustoemissionnogo monitoringa efekta dispergirovaniya. *Obogashchenie poleznykh iskopaemykh*, 18 (59), 41–47.
21. Gorobets, L. J., Verhorobina, I. V. (2017). Transformation of energy on the stage of dispergating of geological environment at ladening. *Geotekhnicheskaya mehanika*, 136, 101–115. Available at: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/158618>
22. Pilov, P. I., Gorobets, L. Zh., Bovenko, V. N., Shcherbakov, A. E., Pryadko, N. S., Verhorobina, I. V. (2007). Parametry akusticheskogo izlucheniya promyshlennoy gazostruynoy ustanovki. *Visnyk nats. tekhn. universyteta «KhPI»*, 27, 33–41.
23. Gorobets, L. Zh. (2003). Noveye predstavleniya o prirode i mekhanizme protsesa izmel'cheniya. *Obogashchenie poleznykh iskopaemykh*, 18 (59), 51–55.
24. Bovenko, V. N., Polunin, V. I. (1976). A. s. No. 512602 SSSR. Aperiodicheskiy datchik dlya registratsii akusticheskikh signalov. No. 2071267; declared: 30.10.1974; published: 30.04.1976.
25. Marasanow, V. V., Sharko, A. A., Koberesky, V. V. (2016). Analysis of mechanisms origin acoustic emission signals at dynamic ladening of solids. *Visnyk Khersonskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu*, 2 (57), 60–65.
26. Sokur, M., Biletskiy, V., Sokur, L., Bozhyk, D., Sokur, I. (2016). Investigation of the process of crushing solid materials in the centrifugal disintegrators. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (7 (81)), 34–40. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.71983>
27. Sokur, M. I., Sokur, L. M., Sokur, I. M. (2014). Development and research of centrifugal crusher with damping hydrostatic buttress of accelerating rotor. *Visnyk NTU «KhPI»*. Series: Khimiya, khimichna tekhnolohiya ta ecolohiya, 52 (1094), 130–137.
28. Sokur, M. I., Kiyanovskiy, M. V., Vorobiov, O. M., Sokur, L. M., Sokur, I. M. (2014). Dezintehratsiya mineralnykh resursiv. *Kremenchuk: vydavnytstvo PP Shcherbatykh O. V.*, 304.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.217308

THE USE OF LOW CLINKER BINDERS IN THE PRODUCTION OF AUTOCLAVED AERATED CONCRETE BY CUTTING TECHNOLOGY (p. 63–71)

Vasyl Serdyuk

Vinnitsya National Technical University, Vinnitsya, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2927-629X>

Dmitrii Rudchenko

LLC «Aeroc», Obukhiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2909-3864>

Nataliia Dyuzhilova

LLC «Aeroc», Obukhiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8602-1563>

The possibilities of optimization of cutting technology for the production of autoclaved aerated concrete and the use of low-clinker binders in it are investigated. Taking into account the price factor, energy-ecological trends in the development of the industry of building wall and heat-insulating materials, autoclaved aerated concrete has significant prospects for the development of production.

With the transition to the production of autoclaved aerated concrete of lower density, on the one hand, the total material consumption of production decreases, and on the other, the specific costs of the binder (cement) per unit mass of aerated concrete increase. The research was aimed at implementing a number of technological solutions. They imply a decrease in the energy intensity of production by minimizing the clinker component in the raw mix and an intensification of the production process in order to increase the coefficient of the structural quality of the material, as well as the possibility of mass production of low-density aerated concrete. Reducing the clinker component by replacing it with active mineral additives, blast-furnace granular slag, under the conditions of cutting technology, is possible provided that the problem of accelerating the plastic strength gain of aerated concrete raw material at the stage of formation of its macrostructure is solved.

It has been established that the implementation of forced synthesis of ettringite at the stage of formation of aerated concrete mixture with a high W/T ratio reduces the time of pre-autoclave holding of the raw mass. This allows the use of mineral additives and enhances the strength of the final product. Replacing 10–15 % of cement with the GBFS addition in the composition of the aerated concrete mixture in the presence of an additional content of gypsum stone of 5–10 % in the composition of sand slime provides an intensive increase in the plastic strength of the raw material before cutting it into products and high strength of the final product.

Keywords: aerated concrete, mineral additives, granulated blast furnace slag, low-clinker binder, ettringite.

References

1. DBN V.2.6-31:2016. *Teplova izoliatsiya budivel* (2017). Kyiv, 37.
2. SN 277–80. *Instruktsiya po izgotovleniyu izdeliy iz yacheistogo betona* (2001). Moscow: GUP TSPP, 47.
3. Kaftaeva, M. V., Rakhimbaev, Sh. M., Zhukov, D. A., Kovalevskaya, K. Yu., Shugaeva, M. A., Marushko, M. V. (2014). Basis of requirements for raw materials for autoclaved aerated concrete. *Modern problems of science and education*, 1.
4. Zhang, Z., Provis, J. L., Reid, A., Wang, H. (2014). Geopolymer foam concrete: An emerging material for sustainable construction. *Construction and Building Materials*, 56, 113–127. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.01.081>
5. Li, B., Ling, X., Liu, X., Li, Q., Chen, W. (2019). Hydration of Portland cements in solutions containing high concentration of borate

- ions: Effects of LiOH. *Cement and Concrete Composites*, 102, 94–104. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2019.04.010>
6. Yang, J., Huang, J., He, X., Su, Y., Tan, H., Chen, W. et al. (2019). Segmented fractal pore structure covering nano- and micro-ranges in cementing composites produced with GGBS. *Construction and Building Materials*, 225, 1170–1182. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.08.016>
 7. Mal'kova, M. Yu. (2005). *Stroitel'nye materialy gidratatsionnogo tverdeniya iz nizkoosnovnykh domennykh shlakov*. Belgorod: Izd-vo BGTU im. V.G. Shuhova, 103.
 8. Rudchenko, D. G. (2012). O roli gipsovogo kamnya v formirovanii fazovogo sostava novoobrazovaniy avtoklavnogo yacheistogo betona. *Budivelni materialy, vyroby ta sanitarna tekhnika*, 43, 47–54.
 9. Poykert, S. (1976). Vliyanie gipsa na svoystva tsementnogo rastvora i tsementnogo testa, podvergnutyyh kratkovremennoy termicheskoy obrabotke. Vol. 2, Kn. 2. Moscow: Stroyizdat, 135–139.
 10. Fomina, E. V., Kudayarova, N. P. (2006). Prochnost' smeshannogo vyazhushchego na izvesti predvaritel'nogo gasheniya s dobavkoy prirodnoy gipsa. *Izvestiya vuzov Severo-Kavkazkiy region. Tehnicheskie nauki*, S6, 17–19.
 11. Huang, H., Ye, G., Damidot, D. (2014). Effect of blast furnace slag on self-healing of microcracks in cementitious materials. *Cement and Concrete Research*, 60, 68–82. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2014.03.010>
 12. Bozhenov, P. I., Kavalerova, V. I. (1961). Vliyanie rezhimov avtoklavnoy obrabotki na svoystva rastvorov i betonov. *Byulleten' tekhnicheskoy informatsii Glavlentstroyaterialov*, 9, 64.
 13. Samchenko, S. V., Zemskova, O. V., Kozlova, I. V. (2017). Model and mechanism of carbon nanotube stabilization with plasticizer based on polycarboxylate. *Vestnik MGSU*, 12 (7 (106)), 724–732. doi: <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2017.7.724-732>
 14. Malolepszy, J., Laskawiec, K. (2017). The today and tomorrow of autoclaved aerated concrete. *Cement Lime Concrete*, 5, 358–370.
 15. Laskawiec, K. (2016). Skurcz betonu komórkowego – w teorii i praktyce inżynierskiej. *MATERIAŁY BUDOWLANE*, 1 (6), 224–225. doi: <https://doi.org/10.15199/33.2016.06.92>
 16. Butt, Yu. M., Rashkovich, L. N. (1965). *Tverdenie vyazhuchih pri povyshennoy temperaturah*. Moscow, 224.
 17. Serdyuk, V., Rudchenko, D. (2015). Aluminium production technologies blowing agent in cellular concrete. *Suchasni tekhnolohiyi, materialy i konstruktsii v budivnytstvi*, 1 (18), 39–45.
 18. Kudayarova, N. P., Ozhereleva, A. Y. (2019). Effect of gypsum additive on quality of compositional binding for products of cellular structure. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*, 6, 96–101. doi: https://doi.org/10.34031/article_5d0a380978a0d8.85307277
 19. Kaftaeva, M. V., Rahimbaev, I. Sh. (2013). Teplovydelenie pri sinteze gidrosilikatnoy svyazki avtoklavnoy gazobetona. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*, 10-3, 373–376.
 20. Butt, Yu. M., Sychev, M. M., Timashev, V. V. (1980). *Himicheskaya tekhnologiya vyazhushchih materialov*. Moscow Vysshaya shkola, 472.
 21. Shpynova, L. G. (1985). Issledovanie svoystv izvesti. *Stroitel'nye materialy*, 6, 26–27.
 22. Sheykin, A. E. (1974). *Struktura, prochnost' i treshchinostoykost' tsementnogo kamnya*. Moscow: Stroyizdat, 191.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.216530
DETERMINING STABILITY CONDITIONS FOR HAULAGE DRIFTS PROTECTED BY COAL PILLARS (p. 72–81)

Igor Iordanov
 LLC Manufacturing Company ELTEKO,
 Kostiantynivka, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9991-781X>

Yuliia Novikova
 Donetsk National Technical University, Pokrovsk, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3530-0420>

Yuliia Simonova
 Donetsk National Technical University, Pokrovsk, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9192-7850>

Anton Korol
 DTEK LLC, Dobropillia, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6667-425X>

Yevgen Podkopyayev
 Donetsk National Technical University, Pokrovsk, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5010-8349>

Oleksiy Kayun
 LLC Manufacturing Company ELTEKO, Kostiantynivka, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1404-6096>

Vitaliy Dovgal
 State Property Fund of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9782-2259>

Hennadii Boichenko
 Svyato-Pokrovskaya No. 3 Mine LLC, Pokrovsk, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9101-0831>

Maksym Hryhorets
 Donetsk National Technical University, Pokrovsk, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1646-5294>

The aim of this research is to study the stability of haulage drifts and the manifestations of rock pressure in them lengthwise the working area when protecting them with coal pillars.

To assess the stability of workings, field experiments were conducted to study the manifestations of rock pressure in the haulage drifts of a steep coal seam. It has been registered that as the breakage face progresses, the displacement of roof rocks on the contour of the drift linearly increases with an increase in the length of the working area.

The deformation properties of coal pillars were studied taking into consideration the extent of the convergence of the roof and soil. This paper reports a theoretical model that describes the destruction of the above-drift coal pillars when unloading the coal-bearing massif that hosts the workings.

It has been determined that the equilibrium state of coal pillars is ensured when the specific deformation and stress potentials are equal before the occurrence of main cracks of destruction. As the relative deformation of coal pillars increases at compression, when this equality is broken, the specific energy intensity of destruction increases. It is noted that at a distance exceeding $l > 10$ m behind the breakage face, the occurrence of the main cracks of destruction is followed by a stability loss in the coal pillars. As a result of external forces, the change in the volume and shape of the coal pillars causes the intensification of the process of convergence of lateral rocks on the contour of haulage drifts lengthwise the working area and leads, with a certain degree of probability, to a deterioration in the stability of workings.

The results of this study could be used to justify the choice of technique to protect haulage drifts. This would allow the timely development of minefield reserves thereby improving the safety of operations. It is recommended that the technique of protecting haulage drifts by coal pillars should be abandoned.

Keywords: rock pressure, haulage drift, coal pillar, deformations, coal-bearing massif, roof.

References

1. Viktorov, S. D., Iofis, M. A., Goncharov, S. A. (2005). *Sdvizhenie i razrushenie gornyykh porod*. Moscow: Nauka, 277. Available at: <https://www.twirpx.com/file/1912211/>

2. Liashok, Y., Iordanov, I., Chepiga, D., Podkopaiev, S. (2018). Experimental studies of the seam openings competence in different methods of protection under pitch and steep coal seams development. *Mining of Mineral Deposits*, 12 (4), 9–19. doi: <https://doi.org/10.15407/mining12.04.009>
3. Kanin, V. A., Hodyrev, E. D., Galemskiy, P. V. (2012). Opereshayushchaya razrabotka zashchitnykh plastov dlya predotvrashcheniya vybrosov peschanikov pri provedenii podgotovitel'nykh vyrabotok. *Transactions of UkrNDMI NAN Ukraine*, 11, 239–250. Available at: <http://dspace.nbu.gov.ua/bitstream/handle/123456789/57120/19-Kanin.pdf?sequence=1>
4. Vlasenko, D. S., Rodichev, A. S. (2014). Determination of the intensity rock preassure in protecting mine workings by using of width less than 15 m. *Gorniy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*, 3, 135–139. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/opredeflenie-intensivnosti-gornogo-davleniya-pri-ohrane-vyrabotok-tselikami-shirinoy-menee-15-m/viewer>
5. Kazikaev, D. M., Kazyrev, A. A., Kaspar'yan, E. V., Iofis, M. A. (2016). Upravlenie geomechanicheskimi protsessami pri razrabotke mestorozhdeniy poleznykh iskopaemykh. Moscow: Izd-vo «Gornaya kniga», 490. Available at: <https://www.twirpx.com/file/2860645/>
6. Artem'ev, V. B., Korshunov, G. I., Loginov, A. K. et. al. (2009). Ohrana podgotovitel'nykh vyrabotok tselikami na ugol'nykh shahtah. Sankt-Peterburg: Nauka, 229.
7. Zborshchik, M. P. (1984). Upravlenie gornym davleniem pri ohrane osnovnykh podgotovitel'nykh vyrabotok v zonah razgruzki. Razrabotka mestorozhdeniy poleznykh iskopaemykh, 69, 8–14.
8. Shvarger, N. Yu., Kalinichenko, V. A., Malanchuk, E. Z. (2010). Kinicheskies protsessy v massive gornyykh porod pri obrazovanii polosti. *Bulletin of Engineering Academy of Ukraine*, 3-4, 61–65. Available at: http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Viau_2010_3-4_14.pdf
9. Kuznetsov, G. N., Bud'ko, I. N. (1971). Issledovanie predel'nykh sostoyaniy hrupkogo materiala v razlichnykh usloviyakh trehosnogo szhatiya. V kn. *Problemy mehaniki gornyykh porod*. Novosibirsk: Izd-vo IGD SO AN SSSR.
10. Viktorov, S. D., Goncharov, S. A., Iofis, M. A., Zakalinskiy, V. M. (2019). *Mehanika sdvizheniya i razrusheniya gornyykh porod*. Moscow: RAN, 360. Available at: <http://www.ras.ru/FStorage/Download.aspx?id=96c79def-d4aa-4145-9116-53f6ac414ebc>
11. Struzhanov, V. V., Burmasheva, N. V. (2019). *Teoriya uprugosti: osnovnye polozheniya*. Ekaterinburg: Izd-vo Ural. un-ta, 204. Available at: https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/68501/1/978-5-7996-2541-2_2019.pdf
12. Kochergarov, G. G. (2000). Energiya i mehanizm kvazimikroplasticheskoy deformatsii tverdykh tel. *Pis'ma v ZhTF*, 26 (11), 41–46.
13. Meshkov, Yu. Ya. (2001). The Concept of a Critical Density of Energy in Models of Fracture of Solids. *Uspehi Fiziki Metallov*, 2 (1), 7–50. doi: <https://doi.org/10.15407/ufm.02.01.007>
14. Köster, W. (1943). Die Querkontraktionszahl im periodischen System. *Elektrochem*, 49 (4-5), 233–237. Available at: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/bbpc.19430490413>
15. Zwikker, C., Smoluchowski, R. (1955). *Physical Properties of Solid Materials*. *Physics Today*, 8 (2), 17–17. doi: <https://doi.org/10.1063/1.3061913>
16. Semenov, V. A. (2013). *Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika*. Sankt-Peterburg: Piter, 192. Available at: https://www.studmed.ru/semenov-v-a-teoriya-veroyatnostey-i-matematicheskaya-statistika_11044b029e5.html
17. Sveshnikov, A. (2012). *Prikladnye metody teorii veroyatnostey*. Sankt-Peterburg: Izd-vo Lan', 480. Available at: <https://e.lanbook.com/book/3184>
18. Barber, J. R. (2011). *Intermediate Mechanics of Materials*. Springer, 618. doi: <https://doi.org/10.1007/978-94-007-0295-0>
19. Potapova, L. B., Yartsev, V. P. (2005). *Mehanika materialov pri sloznom napryazhenom sostoyanii*. Moscow: Izd-vo «Mashinostroeniye», 244. Available at: <https://www.tstu.ru/book/elib/pdf/2005/potapova.pdf>
20. Taboga, M. (2017). *Lectures on Probability Theory and Mathematical Statistics*. CreateSpace Independent Publishing Platform, 670. Available at: <https://www.amazon.com/Lectures-Probability-Theory-Mathematical-Statistics/dp/1981369198>
21. Shashenko, A. N. (2016). *Mehanika gornyykh porod*. Dnepropetrovsk: Natsional'niy gorniy universitet, 347. Available at: <https://www.twirpx.com/file/305703/>
22. Polyaniin, A. D., Zaytsev, V. F. (2002). *Spravochnik po nelineynym uravneniyam matematicheskoy fiziki*. Moscow: Fizmatlit, 432. Available at: <https://www.twirpx.com/file/114870/>
23. Borovkov, A. (2010). *Matematicheskaya statistika*. Sankt-Peterburg: Izd-vo Lan', 704. Available at: <https://e.lanbook.com/book/3810>

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.216610
REVEALING THE PATTERNS OF CHANGE IN THE TECHNICAL CONDITION OF REFRACTORY ELEMENTS IN THERMAL UNITS DURING OPERATION (p. 81–92)

Pavlo Tretiakov

Donetsk National Technical University, Pokrovsk, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4521-0733>

Andrii Toporov

Donetsk National Technical University, Pokrovsk, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6365-9932>

Olha Aleksieieva

Donetsk National Technical University, Pokrovsk, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2768-6220>

Olena Kostina

Donetsk National Technical University, Pokrovsk, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7680-9533>

Viacheslav Borovlov

Donetsk National Technical University, Pokrovsk, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1288-7035>

Operating conditions of thermal units for processing raw materials predetermine defects in refractory elements resulting in their gradual accumulation, which leads to a change in technical condition. A large number of defects, their development, and the achievement of critical values lead to difficulties in modeling the physical processes of changing the technical condition of refractory elements.

This study has investigated the mechanism of the occurrence, development, and accumulation of defects in refractory elements, as well as the processes of cumulative accumulation of damages; a probability model of their degradation has been constructed. The model was built using Markov chains; it describes the sequences of change in the states of refractory element damage and the probability of transitions between these states. Based on the statistical data about a change in the state of damage, the model makes it possible to assess the probability of a defect reaching the critical condition following the predefined number of load cycles. A special feature of the model is the possibility of its application to individual defects, as well as to refractory elements on which defects occur and develop, as well as to assemblies where such refractory elements are installed.

The main patterns of change in the technical condition of refractory elements of coke ovens have been established: the distribution of cracks of a certain length according to the number of coke oven output cycles; the probability of the occurrence of a crack of a critical length at a certain point during operation; the dependence of the

probability of a refractory element failure on the predefined number of coke oven output cycles.

Based on the modeling results, it has been proposed, in order to prevent the degradation of refractory elements, to strengthen the structure of the surface layer of the refractory element by cold gas-dynamic spraying, to arrange laying elements that would stop the evolution of defects, and to make up schedules of hot repairs based on the time when the defects may reach critical values, determined during modeling.

Keywords: refractory element, crack, change in technical condition, probability model, Markov chains.

References

- Rudyka, V. I., Borodin, M. V. (1999). Problems in reconstruction of basic funds of coke and byproducts industry in Ukraine. *Koks i Khimiya*, 7, 22–25. Available at: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0033164922&partnerID=40&md5=2ad13af22003d6ed9f459f6de1998199>
- Miroshnichenko, I. V., Miroshnichenko, D. V., Shulga, I. V., Balava, Y. S., Pereima, V. V. (2019). Calorific Value of Coke. 1. Prediction. *Coke and Chemistry*, 62 (4), 143–149. doi: <https://doi.org/10.3103/s1068364x19040057>
- Shvetsov, V. I., Sukhorukov, V. I. (2009). Quality of refractories and the durability of coke furnaces. *Coke and Chemistry*, 52 (2), 60–69. doi: <https://doi.org/10.3103/s1068364x09020045>
- Parfenyuk, A. S., Tret'yakov, P. V., Kostina, E. D. (2004). Destruction of brickwork of coke oven battery. *Koks i Khimiya*, 8, 14–19. Available at: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-12244269101&partnerID=40&md5=933824ac1247c4a6bc62bd5400c85ff6e>
- Zublev, D. G., Novikov, N. A. (2019). Fifth Russian Coking Conference: A Report. *Coke and Chemistry*, 62 (11), 502–514. doi: <https://doi.org/10.3103/s1068364x19110103>
- Aksel'rod, L. M. et. al.; Kashcheeva, I. D., Grishenkova, E. E. (Eds.) (2002). *Ogneupory dlya promyshlennykh agregatov i topok: Spravochnoe izdanie. Kn. 2. Sluzhba ogneuporov*. Moscow: Intermet Inzhiniring, 656.
- Rudyka, V. I., Zingerman, Yu. E. (Eds.) (2014). *Spravochnik koksohimika. Vol. 2. Proizvodstvo koksa*. Kharkiv: Izdatel'skiy dom «Inzhek», 728.
- Mullinger, P., Jenkins, B. (2013). Furnace Construction and Materials. *Industrial and Process Furnaces*, 415–455. doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-099377-5.00011-3>
- Cameron, I., Sukhram, M., Lefebvre, K., Davenport, W. (2020). Metallurgical Coke – A Key to Blast Furnace Operations. *Blast Furnace Ironmaking*, 557–572. doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-814227-1.00055-5>
- Dvorak, S., Lang, K., Vasica, L. (2015). Development and production of high-density silica for coke ovens. *AISTech - Iron and Steel Technology Conference Proceedings*, 1, 161–163. Available at: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84940488603&partnerID=40&md5=5fb417a91a89f646c0ae0b0572e117df>
- Rudyka, V. I., Zingerman, Y. E., Kamenyuka, V. B., Minasov, A. N., Kononenko, V. S., Volkov, V. I. et. al. (2004). Improvement in design of coke oven battery. *Koks i Khimiya*, 7, 18–25. Available at: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-8644270629&partnerID=40&md5=2a4ddcff353e61733813fa230fb2180a>
- Ronald, K., Martin, R., Rainer, W. (2009). Process model for heat recovery coke ovens. *5th International Congress on the Science and Technology of Ironmaking, ICSTI 2009*, 393–397. Available at: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84883617085&partnerID=40&md5=a3322f89f1039ac3f67b6b86bbbea3d0>
- Guelton, N., Rozhkova, T. V. (2015). Prediction of coke oven wall pressure. *Fuel*, 139, 692–703. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2014.09.042>
- Zublev, D. G., Barsky, V. D. (2020). Hydraulic Analysis of Coke Ovens. *Coke and Chemistry*, 63 (4), 172–176. doi: <https://doi.org/10.3103/s1068364x20040110>
- Romas'ko, V. S. (2010). Deformation of coke-furnace heating walls under the action of nonsteady forces and temperatures. *Coke and Chemistry*, 53 (10), 382–385. doi: <https://doi.org/10.3103/s1068364x10100054>
- Krivoshein, V. T., Grinberg, E. I. (1994). Application of hydraulic devices for the reinforcement of coke ovens lining. *Koks i Khimiya*, 3, 33–35. Available at: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0028388057&partnerID=40&md5=becc229875cfd-b242a11daa3547152e0>
- Gataullin, R. G., Bogdanov, V. F. (2018). Modification of Refractory Components in Russian Coke-Oven Linings. *Coke and Chemistry*, 61 (6), 209–212. doi: <https://doi.org/10.3103/s1068364x18060029>
- Das, S. P., Si, S., Prasad, B., Sahu, J. K., Panda, B. K., Tiwari, J. N., Sahoo, N. (2014). Development of Zero Expansion Silica Bricks for hot Repair of Coke Oven. *Proceedings of the Unified International Technical Conference on Refractories (UNITECR 2013)*, 511–515. doi: <https://doi.org/10.1002/9781118837009.ch88>
- Primachenko, V. V., Pitak, N. V., Martynenko, V. V. (1997). Seventieth anniversary of the Ukrainian Research Institute of Refractories. *Refractories and Industrial Ceramics*, 38 (9-10), 335–344. doi: <https://doi.org/10.1007/bf02767888>
- Liu, S. X., Shen, L. L., Wang, Q. P. (2011). Properties of Ceramic Coatings on the Wall of Coke Oven. *Advanced Materials Research*, 189-193, 1105–1108. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.189-193.1105>
- Pitak, Y. N., Prikhod'ko, Y. E., Gorbatko, S. V., Emchenko, I. V. (2010). Study of the properties of ceramic surfacing material used for restoring coking chamber linings. *Refractories and Industrial Ceramics*, 51 (2), 114–117. doi: <https://doi.org/10.1007/s11148-010-9270-0>
- Zhang, M., Han, C., Ni, K., Gu, H., Huang, A., Shao, Z. (2017). Improving mullite-silicon carbide refractory in coke dry quenching using aluminum nitride whiskers formed in situ. *Ceramics International*, 43 (18), 16993–16999. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2017.09.107>
- Imai, H., Matsuoka, S. (2006). Direct Welding of Metals and Ceramics by Ultrasonic Vibration. *JSME International Journal Series A*, 49 (3), 444–450. doi: <https://doi.org/10.1299/jsmea.49.444>
- Goffi, E. D., Kerr, P. D., Randolph, R. A. (2008). Strategic coke battery maintenance provides battery life extension. *ANNALS – 3rd International Meeting on Ironmaking and 2nd International Symposium on Iron Ore*, 1184–1190. Available at: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-62549147777&partnerID=40&md5=325658a04310b8b7543062aff95d684b>
- Zublev, D. G., Barsky, V. D. (2016). Determining the air excess in the heating of coke furnaces. 2. Sampling and analysis. *Coke and Chemistry*, 59 (11), 414–416. doi: <https://doi.org/10.3103/s1068364x16110107>
- Mankevich, A. N., Sukhanov, A. N., Samojlov, G. N., Tereshkov, S. V. (2004). Video camera for monitoring the lining of coke oven battery. *Koks i Khimiya*, 11, 36–37. Available at: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-33744532647&partnerID=40&md5=bc554fee2bc99c63dda2642b8fb36069>
- Lipunov, P. V., Motrich, S. V., Markov, V. I., Chura, N. G. (2014). Diagnostics of the heating system and lining of coke ovens. *Coke and Chemistry*, 57 (12), 489–492. doi: <https://doi.org/10.3103/s1068364x14120035>
- Garipov, R. R., Pershikov, A. V. (2019). Operation and Hot Repair of Coke-Oven Linings. *Coke and Chemistry*, 62 (2), 37–39. doi: <https://doi.org/10.3103/s1068364x19020029>

29. Suhorukov, V. I., Shvetsov, V. I., Chemarda, N. A. (2004). Remont kladki i armiryushchego oborudovaniya koksovyh batarey. Ekaterinburg, 483.
30. Golubtsov, S. N., Kondrat'iev, A. F. (2013). Extending coke-oven life at Evraz Koks Siberia. *Coke and Chemistry*, 56 (10), 376–378. doi: <https://doi.org/10.3103/s1068364x13100037>
31. Lobato, H. E., Camerucci, M. A. (2008). Soldadura cerámica: método de reparación de revestimientos refractarios de equipamientos industriales. *Boletín de La Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 47 (2), 95–100. doi: <https://doi.org/10.3989/cyv.2008.v47.i2.201>
32. Kal'yanov, K. G. (1980). Remont ogneupornoy kladki i ankerazha koksovyh pechey. Moscow: Metallurgiya, 96.
33. Pravila tehnikeskoy ekspluatatsii koksohimicheskikh predpriyatiy PTE (2017). Kharkiv, 282.
34. Yamashita, H., Inamasu, H., Horinouchi, S., Takayama, N. (2006). Development of a ceramic welding machine for coke oven carbonization chamber. 4th International Congress on the Science and Technology of Ironmaking, ICSTI 2006, Proceedings, 398–401. Available at: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84890264511&partnerID=40&md5=17fb2cfc13661c6c01da9919f38e69ad>
35. Zublev, D. G., Barsky, V. D., Kravchenko, A. V. (2017). Operation of the extreme heating channels in coke batteries. *Coke and Chemistry*, 60 (6), 231–233. doi: <https://doi.org/10.3103/s1068364x17060096>
36. Parfenyuk, A. S., Tret'yakov, P. V., Vlasov, G. A., Kaufman, S. I. (2004). Tehnikeskoe sostoyanie kladki koksovyh batarey – vazhniy faktor ekologichnosti koksohimicheskogo predpriyatiya. Sb. trudov XI mezhdunarodnoy nauchno-tehnikeskoy konferentsii «Mashinostroenie i tehnosfera XXI veka». Vol. 3. Donetsk: DonNTU, 24–27.
37. Tret'yakov, P. V., Parfenyuk, A. S. (2006). Obespechenie ekologicheskoy bezopasnosti i nadezhnosti termoliznyh pechey dlya pererabotki uglerodsoderzhashchih spekeyushchihsya mass. Mashinostroenie i tehnosfera XXI veka. Sbornik trudov XIII mezhdunarodnoy nauchno-tehnikeskoy konferentsii. Vol. 5. Donetsk: DonNTU, 298–302.
38. Toporov, A. A., Borovlov, V. M., Tretiakov, P. V. (2018). Defekty vohnetryvkiykh elementiv opaliuvalnykh prostinkiv koksovykh ta pekokoksovykh pechei. *Materialy XIX-MNTK «Prohresyvna tekhnika, tekhnolohiya ta inzhenerna osvita»*. Kyiv: Natsionalnyi tekhnichnyi universytet Ukrainy «Kyivskiy politekhnichnyi instytut imeni Ihoria Sikorskoho», 81–84.
39. Bogdanoff, J. L., Kozin, F. (1985). Probabilistic Models of Cumulative Damage. Wiley, 341. Available at: https://books.google.com.ua/books?id=L5NRAAAAMAAJ&hl=ru&source=gbs_similarbooks
40. Feller, W. (2008). An introduction to probability theory and its applications. Vol. 2. Wiley, 700. Available at: <https://books.google.com.ua/books?id=OXkg-LvRgJUC>
41. Kadry, S. (2014). Statistics and Probability. Mathematical Formulas for Industrial and Mechanical Engineering, 113–123. doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-420131-6.00006-3>
42. Cramér, H. (1999). Mathematical Methods of Statistics. Princeton University Press, 575. Available at: <https://books.google.com.ua/books?id=CRTKKAJ00DYC>
43. Schmidt, K., Buhl, S., Davoudi, N., Godard, C., Merz, R., Raid, I. et. al. (2017). Ti surface modification by cold spraying with TiO₂ microparticles. *Surface and Coatings Technology*, 309, 749–758. doi: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2016.10.091>
44. Parfenyuk, A. S., Veretel'nik, S. P., Zborshchik, M. P., Sibilev, A. I., Trubnikov, L. I., Dorofeev, A. H. et. al. (1991). Pat. No. 1806163 SSSR. Otopitel'niy prostenok kamery koksovaniya. No. 4931946/04; declared: 29.04.1991; published: 30.03.1993, Bul. No. 12.
45. Parfenyuk, A. S., Kostina, E. D., Alekseeva, O. E., Britov, N. A., Tkachenko, V. N. (1997). Reduction of cracking in refractory structures of thermal setups. *Refractories and Industrial Ceramics*, 38 (3), 125–127. doi: <https://doi.org/10.1007/bf02767795>

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.217978
ESTIMATION OF DAMAGE DEVELOPMENT AND THE TIME OF FAILURE OF CUTTING INSERTS MADE OF HARD ALLOYS AND SUPERHARD COMPOSITES BY CHEMOGRAPHY METHODS (p. 93–102)

Mykhaylo Zagirnyak
 Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy
 National University, Kremenchuk, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4700-0967>

Alexandr Salenko
 National Technical University of Ukraine
 «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5685-6225>

Mykhailo Elizarov
 Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy
 National University, Kremenchuk, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6468-9367>

Olga Chenecheva
 Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy
 National University, Kremenchuk, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8826-3248>

Sergey Klimenko
 V. Bakul Institute for Superhard Materials, Kyiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5730-1184>

Tareq Al-Quraan
 Al-Balqa Applied University – Ma'an College, Amman, Jordan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6741-7025>

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

The results of theoretical and experimental studies aimed at identifying hidden defects in the structure of hard alloys and superhard composites used in the manufacture of cutting tools in order to control and predict gradual and sudden failures of cutting inserts.

Damage control of cutting inserts is carried out by microscopic analysis. Deeper damage to the structure can be detected using the method of chemographic imaging. The proposed method is based on obtaining photographs of the oxidative reactions of materials of ultra-low concentrations occurring on the surface of solids under thermobaric loading.

Before the moment of a sharp release of the energy of destruction, chemical processes of ultra-low concentrations are activated. Chemography allows to fix the zones where the incipient microcracks and microdefects are ready to actively develop, which can lead to the onset of macrodamage and failure to work.

The chemographic image of the plate obtained as a result of the study is compared with the reference sample, as a result of which it is possible to assess the initial defect state of the material and predict the further period of the plate's operation.

The criterion for the existing defects and imperfections in the structure is the change in the blackness index of the chemographic image, the minimum value of which indicates a minimum of structural defects and internal defects in the material under study.

The results allow to propose a new method for controlling the surface of cutting plates, which can be easily implemented in any machine shop, which makes its application very promising.

Keywords: chemography, internal defects, microdamages, coating spalling, failure, gradual wear, low concentration reactions, cutting tool, reliability prediction.

References

1. Novikov, N. V., Klimenko, S. A. (2015). Tverdospлавnye instrumenty v protsessakh mekhanicheskoi obrabotki. Kyiv: ISM im. V.N. Bakulia, 368.
2. Derevianchenko, A. G., Pavlenko, V. D., Andreev, A. V. (1999). Diagnostirovanie sostoianii rezhuschikh instrumentov pri pretsiziinnoi obrabotke. Odessa: Astroprint, 184.
3. Pechenin, V. A., Khaimovich, A. I., Kondratiev, A. I., Bolotov, M. A. (2017). Method of Controlling Cutting Tool Wear Based on Signal Analysis of Acoustic Emission for Milling. *Procedia Engineering*, 176, 246–252. doi: <http://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.02.294>
4. Skorokhod, A. A., Shevchenko, V. V. (2014). System diagnostic performance of cutting tool in the automated production. *Sovremennye nauchnye issledovaniia i innovatsii*, 4 (1). Available at: <http://web.snauka.ru/issues/2014/04/33014> Last accessed: 14.09.2020.
5. Liberman, Ia. L., Tulaev, Iu. I. (2005). Diagnostika sostoianii rezhuschego instrumenta v protsesse obrabotki. Ekaterinburg: BKI, 78.
6. Voskoboev, V. F. (2008). Nadezhnost tekhnicheskikh sistem i tekhnogennii risk. Ch. I. Nadezhnost tekhnicheskikh sistem. Moscow: OOO ID «Alians», 200. Available at: <https://www.twirpx.com/file/524783/>
7. Gnedenko, B. V., Beliaev, Iu. K., Solovev, A. D. (1965). *Matematicheskie metody v teorii nadezhnosti* Moscow: Nauka, 524. Available at: <https://www.twirpx.com/file/33078/>
8. Nocedal, J., Wright, S. J. (2006). *Numerical optimization*. Springer, 685. Available at: <https://www.twirpx.com/file/724235/>
9. Deep, K. (2009). Reliability Optimization of Complex Systems through C-SOMGA. *Journal of Information and Computing Science*, 4 (3), 163–172.
10. Kushch, V. I., Shmegera, S. V., Mishnaevsky, L. (2008). Meso cell model of fiber reinforced composite: Interface stress statistics and debonding paths. *International Journal of Solids and Structures*, 45 (9), 2758–2784. doi: <http://doi.org/10.1016/j.ijsolstr.2007.12.019>
11. Salenko, A., Elizarov, M., Shchetinin, V., Al-Kuraan Tarek, M. A., Klymenko, S. (2020). Application of chemography for evaluating the workability of hard alloy cutting plates. *Mechanics and Advanced Technologies*, 88 (1), 135–140. doi: <http://doi.org/10.20535/2521-1943.2020.88.204782>
12. Yelizarov, M. A. (2006). Visualization of early stages of corrosion processes by a chemographic method. *Surface and Interface Analysis*, 38 (4), 263–266. doi: <http://doi.org/10.1002/sia.2276>
13. Elizarov, A. I., Sukachov, A. V. (1999). New method for visualizing heterogeneous reactions. *Vacuum*, 54 (1-4), 233–237. doi: [http://doi.org/10.1016/s0042-207x\(98\)00470-9](http://doi.org/10.1016/s0042-207x(98)00470-9)

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.216409

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ ПОТОКОВОГО ЗМІШУВАННЯ СИПКИХ КОМПОНЕНТІВ (с. 6–13)

І. А. Шевченко, Е. Б. Алієв

Сучасна промислова і аграрна переробка майже завжди передбачає виконання процесу змішування сипкого матеріалу на різноманітному обладнанні. На даний момент відомі змішувачі різноманітних конструкцій, принципів та способів реалізації технологічного процесу. Серед існуючих способів змішування є потоковий спосіб, який має значні переваги – зменшення енергоємності при підвищенні якості процесу безперервного приготування та роздавання суміші. Однак дослідженню потокового способу змішування сипких матеріалів приділено мало уваги. Це не дає можливості використати відомі аналітичні моделі процесу переміщення сипких компонентів для обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів робочих органів змішувача потокового типу.

В результаті аналітичних досліджень потокового способу змішування складено систему диференціальних рівнянь руху частинок компонентів сипкого матеріалу в повітряному потоці під дією поверхонь робочих органів розробленого змішувача. Представлена система диференціальних рівнянь покладена в основу фізико-математичного апарату чисельного моделювання зазначеного процесу в пакеті програмного забезпечення StarCCM+ (США).

В результаті чисельного моделювання отримані залежності динаміки зміни концентрації компонентів в суміші та однорідності суміші від зон змішувача потокового типу в залежності від факторів досліджень (частота обертів, кута атаки лопатевого змішувача, продуктивність подачі першого і другого компонентів).

Для процесу змішування двокомпонентної кормової суміші (стебловий і концентрований корми) визначені оптимальні конструктивно-технологічні параметри змішувача потокового типу, при яких однорідність отриманої кормосуміші є максимальною.

Ключові слова: сипкий матеріал, потокове змішування, чисельне моделювання, робочий орган, конструктивно-технологічні параметри.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.216625

РОЗРОБКА МЕТОДУ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ПРИ ЗМЕНШЕННІ МАСОВО-ГАБАРИТНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЖЕЖНИХ ВІДЦЕНТРОВИХ НАСОСІВ ШЛЯХОМ ОПТИМІЗАЦІЇ ЇХ КОНСТРУКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ (с. 14–19)

О. Е. Васильєва, І. В. Паснак, А. А. Ренкас

Для визначення оптимальних масо-габаритних параметрів відцентрових пожежних насосів розроблено алгоритм розрахунку на міцність і надійність корпусів відцентрових пожежних насосів. Для цього розроблено метод визначення основних показників надійності, створено оптимізаційну математичну модель та побудовано алгоритм розв'язку оптимізаційної задачі з використанням методу Монте-Карло. При розробленні методу визначення основних показників надійності відцентрових пожежних насосів враховано силові та кінематичні параметри, економічний показник надійності та витрати на забезпечення надійності. Ці показники дозволяють встановлювати оптимальні витрати матеріалів на виготовлення конструктивних елементів відцентрових пожежних насосів, забезпечуючи їх міцність та надійність. При розробленні оптимізаційної математичної моделі у якості цільової функції застосовано мінімізацію маси насоса, а також використано різнищевий критерій, що дозволяє врахувати економічний показник при виготовленні відцентрових пожежних насосів та знизити їх собівартість. Встановлено, що основним показником, який впливає на масу насоса та затрати на його виготовлення, є товщина стінки корпусу насоса. На підставі розробленої оптимізаційної математичної моделі були побудовані блок-схеми алгоритмів для її розв'язування з використанням методу Монте-Карло. Результати розрахунків показали, що ширину корпусу насоса ПН-40 УВ можна зменшити у 1,18 від номінальної. Використання оптимізаційної математичної моделі в процесі проектування пожежних відцентрових насосів дає можливість зменшити масу насоса на 9–11 %, при цьому забезпечити високу надійність і зменшити витрати на його виготовлення на 10 %.

Ключові слова: пожежний відцентровий насос, корпус, оптимізаційна математична модель, надійність пожежних насосів.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.216382

ВПРОВАДЖЕННЯ ШВИДКОГО ПРОТОТИПУВАННЯ ПОЛІМОЛОЧНОЇ КИСЛОТИ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЇ 3D-ДРУКУ ДЛЯ ЗАСТОСУВАННЯ В ДОШКІЛЬНІЙ ОСВІТІ (с. 20–26)

Dwi Hadi Sulistyarini, Debrina Puspita Andriani, Zefry Darmawan, Putu Hadi Setyarini

3D-друк є однією з технологій, що швидко розвиваються. Машини для 3D-друку можуть створювати об'єкти легко, швидко і детально. Існує три основні етапи, через які проходить машина для 3D-друку, а саме проектування, друк і обробка. 3D-принтери з використанням полімолочної кислоти широко використовуються в різних областях, таких як промислове обладнання, космічні апарати, споживчі товари, електронні компоненти, транспортні засоби, медична промисловість, іграшкова промисловість та інші.

В даному дослідженні за допомогою методу 3D-друку з використанням ниток з полімолочної кислоти нам вдалося створити розвиваючий ігровий інструмент під назвою Tetris. 3D-друком називається процес послідовного створення тривимірних об'єктів з цифрових файлів шляхом послідовного розміщення множини шарів тонкого металу. За допомогою адитивних технологій, 3D-цифрові конструкції перетворюють у віртуальні вироби шляхом послідовного осадження металів. 3D-друк забезпечує розумну можливість відповідності різним параметрам в залежності від галузі інженерії. Завдяки перевагам матеріалу ПМК, який володіє хорошою міцністю, якістю поверхні, доступний в різних кольорах і зручний у використанні, виробляються розвиваючі ігрові інструменти, що мають такі переваги як привабливість,

легкість, міцність і простота в грі. Таким чином, створення розвиваючих ігрових інструментів з використанням 3D-друку з ПМК може вирішити проблеми з попередніми розвиваючими ігровими інструментами, в які не просто грати і які менш привабливі для раннього дитинства. Розвиваючі ігри, створені в даному дослідженні, можуть використовуватися в якості платформи для навчання дітей на рівнях від дитячого садка до початкової школи. Спосіб гри в розвиваючу гру Тетріс полягає в тому, щоб прикріплювати фігури до основної частини Тетрісу і зіставляти їх з іншими фігурами, точно так, як грати в головоломку, де кожна встановлена фігура повинна відповідати іншим фігурам.

Ключові слова: 3D-друк, розвиваючі ігрові інструменти, полімолочна кислота.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.212820

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОБМЕЖЕНЬ ПРИ РОБОТІ ДИСКОВИМИ ПОЛІМЕРНО-АБРАЗИВНИМИ ЩІТКАМИ (с. 27–33)

П. Р. Тришин, Н. В. Гончар, Е. В. Кондратюк, Д. М. Степанов

Полімерно-абразивні щіткові інструменти обертальної дії все частіше використовують для фінішних операцій в автоматизованому виробництві. У зв'язку з цим вийшло на передній план вивчення процесу зношування їх волокон, і такий вид зношення, як відрив цілого волокна в місці закріплення, на даний момент недостатньо вивчено. Це явище може призводити до порушення стабільної роботи обладнання і до катастрофічного зношення щіток. Тому пошук і визначення обмежень, що дозволяють запобігти відриву волокон, є актуальним завданням.

Вивчали дискові та циліндричні полімерно-абразивні щітки, як найбільш поширені у виробництві.

В даному дослідженні встановлено, що відрив відбувається при несприятливому поєднанні режимів обробки і параметрів щіток, на оборотах, близьких до граничних, зазначених фірмами-виробниками. При перевірці рівня температур в місці закріплення волокон визначили, що нагрівання волокон в цій зоні в процесі експлуатації недостатньо для плавлення полімерної основи волокон і їх відриву.

Встановлено, що причиною відриву волокон є накопичення втомних змін, які значно прискорюються на граничних режимах. Дослідження циклічної довговічності волокон дозволило визначити співвідношення критичних режимів обробки і параметрів інструменту, які призводять до втомного руйнування волокон в місці їх закріплення.

Були встановлені наступні технологічні обмеження для гарантованого запобігання відриву волокон:

- не рекомендується застосовувати окружні швидкості різання більше 40 м/с;
- натяг при роботі не повинен перевищувати 10 % від величини вильоту волокон.

Виконання даних обмежень забезпечує цілісність інструменту, його високу стійкість, а також стабільність процесу фінішної обробки деталей в автоматичному режимі.

Ключові слова: полімерно-абразивна дискова щітка, відрив волокон, температура волокон, циклічна довговічність.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.216523

ВИЗНАЧЕННЯ ДЕФОРМОВАННОГО СТАНУ У ПРОЦЕСІ РОЗКОЧУВАННЯ КОНІЧНИХ ОБИЧАЙОК З ФЛАНЦЕМ (с. 34–41)

О. Є. Марков, В. В. Панов, С. Г. Карнаух, А. С. Хвацинський, Р. Ю. Житніков, В. В. Кухар, М. С. Косилов, П. І. Різак

Отримання куванням конічних обичайок є важливою і актуальною проблемою в енергетичному і важкому машинобудуванні. Існуючі процеси їх виготовлення зводяться до спрощення конфігурації таких заготовок. В результаті збільшуються витрати матеріалу і відбувається перерізання внутрішнього волокна при механічній обробці, що також призводить до зниження механічних властивостей. Новий спосіб кування вимагав проведення досліджень формозміни заготовки та розподілу деформацій в процесі розкочування. Із застосуванням методу скінченних елементів була досліджена операція розкочування східчастих пустотілих заготовок. На підставі результатів досліджень встановлювалася конусність поковки, яка з'являлась в процесі кування. Була розроблена методика дослідження методом скінчених елементів операції розкочування конічних обичайок, що дозволила визначити зміну форми і розмірів порожнистих поковки при розкочуванні ступінчастим інструментом. Запропоновано параметр для кількісної оцінки формування конусності в процесі розкочування заготовки з фланцем. На базі отриманих результатів був виявлений поетапний розподіл інтенсивності логарифмічних деформацій в тілі поковки при розкочуванні конусних обичайок. Було встановлено, що поетапне деформування призводить до підвищення нерівномірності розподілу деформацій з боку виступу і уступу. Максимальні деформації величиною 1,0...1,2 виникають на внутрішній і зовнішній поверхнях виступу ступінчастої заготовки. Встановлені залежності формозміни ступінчастих заготовок для досліджуваних співвідношень розмірів і режимів розкочування. Було встановлено, що максимальна конусність буде утворюватися для ступеня деформації 15 %. Встановлено, що величина ступеня обтискання в уступі і виступі вирівнюється після 3 проходів деформування ступінчастою заготовкою.

Ключові слова: кування, розкочування, конусність, обичайка конічна, кільце, пустотіла поковка, ступінчастий бойок.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.216543

ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ОЦІНКИ ПРИДАТНОСТІ СИРОВИННИХ СУМШЕЙ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ ВИРОБІВ МЕТОДОМ НАПІВСУХОГО ПРЕСУВАННЯ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ КОМПРЕСИЙНИХ КРИВИХ (с. 42–54)

О. Г. Савченко, О. Ю. Крот, В. О. Буцький, О. П. Крот, Л. М. Буцька

Запропоновано спрощену методику експрес-оцінки придатності до напівсухого пресування (НП) на пресах дрібноштучних виробів з різноманітних сировинних сумішей (далі – сумішей), в яких наповнювачами можуть бути неоднорідні за властивостями шлаки, зола, пил та інші відходи виробництва. Методика заснована на оцінці ступеня негативного впливу на показники якості виробів похибки їх густини $\Delta\rho \geq \pm 2,5\%$, пов'язаної з недосконалістю пристроїв об'ємного дозування, використовуваних в пресах НП. Встановлено, що градацію

сумішей можна проводити по крутизні компресійної кривої (КК) – залежності $q_i=f(p_i)$, де q_i і p_i є поточними значеннями тиску (МПа) і густини масиву суміші (г/см^3). Як критерій придатності суміші до НП використаний множник b ($\text{см}^3/\text{г}$), що входить до складу залежності. Показано, що суміш першого типу (при $b \leq 8$) придатна для НП в багатогнізних пресах. Суміш третього типу (при $b > 12$) є проблемною – вимагає коригування складу і повторного визначення b . Суміш другого типу (при $b = 8 \dots 12$) вимагає додаткових досліджень, які запропоновано проводити в дві стадії. Перша передбачає маловитратне визначення залежності міцності зразків НП від тиску $\sigma=f(q)$ і перевірку за мінімальною міцністю σ_{\min} , за критеріями крутизни K і допустимого тиску q_y . Визначено діапазони K і q_y , при яких необхідна більш трудомістка друга стадія – перевірка на відсутність дефекту «перепрессовки». У разі успіху всіх стадій перевірок суміш відноситься до першого типу, при невдачі – до третього. Розглянуто способи поліпшення придатності сумішей до НП. Перспективним виявився спосіб обробки суміші в швидкохідному активаторі валкового типу, при якому одночасно знижується і крутизна КК активованої суміші, і необхідний тиск пресування. Результати досліджень дозволять розширити сферу використання техногенних продуктів застосуванням їх в сумішах для НП.

Ключові слова: напісвохе пресування, тиск, крива пресування, похибка дозування, сировинні суміші, перевірка придатності.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.217253

ВИЯВЛЕННЯ ЧИННИКІВ ЗНИЖЕННЯ ЕНЕРГОВИТРАТ ПРИ ДИСПЕРГУВАННІ В СТРУМЕНЯХ (с. 55–62)

Л. Ж. Горобець, І. В. Верхоробіна, В. С. Білецький, А. Ю. Кривенко, М. А. Грищенко, О. В. Булах

Наведено показники роботи установок струминного подрібнення (УСП) промислового типорозміру. Узагальнені залежності питомої витрати енергоносія від продуктивності. З позиції зниження витрат енергії розглянуті технологічні закономірності робочого процесу на прикладах роботи газоструминних і пароструминних млинів Вільногірського гірничо-металургійного комбінату (ВГМК) при подрібненні циркону до 60 мкм. Виконано дослідження акустичної активності в зоні помелу в зв'язку з концентрацією μ і в поєднанні з технологічною оцінкою показників роботи млина. При оцінці акустичної емісії (АЕ) застосований широкосмуговий п'єзодатчик. Показано, що акустична активність зони помелу містить інформацію про ефекти диспергування і витрати енергії на подрібнення, що дає можливість оцінити та мінімізувати питомі витрати енергії. Встановлено, що провідними чинниками енерговитратності УСП є початкова температура енергоносія, що задає швидкість струменя, і концентрація твердої фази в струмені, що змінює ефекти диспергування. Запропоновано спосіб поточної оцінки енерговитрат в робочому процесі диспергування на основі експериментальних акустичних даних і закономірностей акустичного розмірного ефекту. Отримано розрахункові акустичні показники енерговитратності роботи струменевого млина в умовах ВГМК. Для зниження витрат енергії на диспергування ($\gamma_s \cong 0,42$ Дж/см²) використовується ефект регулювання завантаження струменів до $\gamma_N \cong 1,8$ Дж/імп. Таким чином, виконане дослідження диспергування твердого сипучого матеріалу у струменях із залученням акустичної інформації про роботу струминних млинів, в комплексі дає можливість оцінити та мінімізувати (оптимізувати) питомі витрати енергії на подрібнення.

Ключові слова: струменевий млин, диспергування, температура енергоносія, концентрація твердої фази, акустична активність.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.217308

ВИКОРИСТАННЯ МАЛОКЛІНКЕРНИХ В'ЯЖУЧИХ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ АВТОКЛАВНОГО ГАЗОБЕТОНУ ЗА РІЗАЛЬНОЮ ТЕХНОЛОГІЄЮ (с. 63–71)

В. Р. Сердюк, Д. Г. Рудченко, Н. О. Дюжилова

Досліджено можливості оптимізації різальної технології виробництва автоклавного газобетону та використання малоклінкерних в'язучих. Враховуючи ціновий фактор, енерго-екологічні тенденції розвитку промисловості будівельних стінових і теплоізоляційних матеріалів, автоклавний газобетон має значні перспективи розвитку виробництва.

При переході на виробництво автоклавного газобетону меншої густини з однієї сторони зменшується загальна матеріалоемність виробництва, з іншої – зростають питомі витрати в'язучого (цементу) на одиницю маси газобетону. Дослідження були націлені на реалізацію низки технологічних рішень. Вони передбачають зменшення енергоємності виробництва шляхом мінімізації клінкерної складової у сировинній суміші та інтенсифікацію процесу виробництва з метою підвищення коефіцієнту конструктивної якості матеріалу і серійного виробництва газобетону меншої густини. Зменшення клінкерної складової, шляхом її заміни активними мінеральними добавками та доменним гранульованим шлаком, в умовах різальної технології є можливим за умови вирішення проблеми прискорення росту пластичної міцності газобетонного сирця на стадії формування його макроструктури.

Визначено що, реалізація примусового синтезу еттрингіту на стадії формування газобетонної суміші з високим В/Т відношенням скорочує тривалість доавтоклавної витримки масиву сирця. Це забезпечує можливість використання мінеральних добавок та сприяє зростанню міцності кінцевого продукту. Заміна 10–15 % цементу добавкою ДГШ в складі газобетонної суміші при наявності додаткового вмісту гіпсового каменю 5–10 % в складі піщаного шламу забезпечує інтенсивне зростання пластичної міцності сирця до його розрізки та високу міцність кінцевого продукту.

Ключові слова: газобетон, мінеральні добавки, доменний гранульований шлак, малоклінкерне в'язуч, еттрингіт.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.216530

ВИЗНАЧЕННЯ УМОВ СТІЙКОСТІ ВІДКАТНИХ ШТРЕКІВ ПРИ ОХОРОНІ ЦІЛИКАМИ ВУГІЛЛЯ (с. 72–81)

І. В. Іорданов, Ю. В. Новікова, Ю. І. Сімонова, А. В. Король, Є. С. Подкопаяв, О. П. Каюн, В. Ю. Довгаль, Г. Е. Бойченко, М. О. Григорєць

Метою досліджень є вивчення стійкості відкатних штреків і проявів гірничого тиску в них по довжині виїмкової ділянки при способі охорони ціликами вугілля. Для оцінки стійкості гірничих виробок, були проведені натурні експерименти з вивчення проявів

гірничого тиску у відкатних штреках крутого вугільного пласта. Зафіксовано, що в міру посування очисного вибою зміщення порід покрівлі на контурі штреків лінійно зростають зі збільшенням довжини виїмкової ділянки.

Дослідження деформаційних властивостей вугільних ціликів було виконано з урахуванням величини зближення покрівлі і підшви. Описана теоретична модель руйнування надштрекових вугільних ціликів при розвантаженні вуглепородного масиву, що вміщає виробки.

Визначено, що рівноважний стан вугільних ціликів забезпечується за однакової кількості питомих потенціалів деформацій і напружень до появи магістральних тріщин руйнування. З ростом відносної деформації вугільних ціликів при стисненні, коли ця рівність порушується, питома енергомісткість руйнування збільшується. Відзначено, що на відстані більше $l > 10$ м позаду очисного вибою настає втрата стійкості вугільних ціликів. В результаті дії зовнішніх сил, зміна обсягу і форми вугільних ціликів викликає інтенсифікацію процесу конвергенції бічних порід на контурі відкатних штреків по довжині виїмкової ділянки і веде, з певною часткою ймовірності, до погіршення стійкості виробок.

Отримані результати досліджень можна використовувати при обґрунтуванні вибору способу охорони відкатних штреків на пластах крутого падіння. Це дозволить здійснити своєчасне відпрацювання запасів шахтного поля і підвищити безпеку робіт. Рекомендується відмовитися від способу охорони відкатних штреків ціликами вугілля.

Ключові слова: гірничий тиск, відкатний штрек, вугільний цілик, деформації, вуглепородний масив, покрівля.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.216610

ВИЯВЛЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЗМІНИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ВОГНЕТРИВКИХ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕПЛОВИХ АГРЕГАТИВ В ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ (с. 81–92)

П. В. Трег'яков, А. А. Топоров, О. Є. Алексеева, О. Д. Костіна, В. М. Боровльов

Умови експлуатації теплових агрегатів для переробки сировинних матеріалів викликають виникнення дефектів вогнетривких елементів з поступовим їх накопиченням, що призводить до зміни технічного стану. Велика кількість дефектів, їх розвиток та досягнення критичних значень призводить до складнощів при моделюванні фізичних процесів зміни технічного стану вогнетривких елементів.

В роботі досліджено механізм виникнення, розвитку та накопичення дефектів у вогнетривких елементах та процесів кумулятивного накопичення пошкоджень та створено ймовірнісну модель їх деградації. Модель побудована з використанням ланцюгів Маркова та описує послідовності зміни станів пошкодженості вогнетривкого елемента та ймовірності переходів між цими станами. На основі статистичних даних про зміну стану пошкодженості модель дозволяє оцінити ймовірність досягнення дефектом критичного стану після заданої кількості циклів навантаження. Відмінністю моделі є можливість її застосування як до окремих дефектів, так і до вогнетривких елементів, на яких виникають та розвиваються дефекти, а також до агрегатів, де встановлено такі вогнетривкі елементи.

Встановлено основні закономірності зміни технічного стану вогнетривких елементів коксових печей: розподілення тріщин визначеної довжини відповідно до кількості циклів півовидач; ймовірність утворення тріщини критичної довжини на певний момент експлуатації; залежності ймовірності відмови вогнетривкого елемента від заданої кількості циклів півовидач.

На основі результатів проведеного моделювання для запобігання деградації вогнетривких елементів запропоновано проводити зміцнення структури поверхневого шару вогнетривкого елемента методом холодного газодинамічного наплення, розміщення закладних елементів, які будуть зупиняти розвиток дефектів, та складати графіки гарячих ремонтів на основі визначених за моделюванням термінів досягнення дефектами критичних величин.

Ключові слова: вогнетривкий елемент, тріщина, зміна технічного стану, ймовірнісна модель, ланцюги Маркова.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.217978

ОЦІНКА РОЗВИТКУ УШКОДЖЕНЬ І ЧАСУ НАСТАННЯ ВІДМОВИ РІЗАЛЬНИХ ПЛАСТИН ІЗ ТВЕРДИХ СПЛАВІВ І НАДТВЕРДИХ КОМПОЗИТИВ МЕТОДАМИ ХЕМОГРАФІЇ (с. 93–102)

М. В. Загірняк, О. Ф. Саленко, М. О. Єлізаров, О. О. Ченчева, С. А. Клименко, Тарек Аль-Кураан, В. Т. Щетинін

Представлені результати теоретико-експериментальних досліджень, основаних на діагностиці структурних дефектів твердих сплавів та надтвердих композитів, які використовуються при виготовленні ріжучих інструментів, з метою контролю та прогнозування поступових та раптових відмов ріжучих пластин.

Контроль поверхні ріжучої пластини здійснюється, як правило, за допомогою мікроскопічного аналізу. Виявлення більш глибоких пошкоджених структур може бути виконано за допомогою методу хемографічної зйомки. Запропонований метод заснований на отриманні фотознімків окислювальних реакцій матеріалів надмалих концентрацій, що протікають на поверхні твердого тіла при термобаричному навантаженні.

Хемографія дозволяє фіксувати зони, де мікротріщини та мікродефекти, що зароджуються, готові активно розвиватися, що неодмінно призводить у майбутньому до макропошкодження та відмови в роботі.

Отримані в результаті дослідження хемографічні зображення пластини порівнюються з еталонним зображенням, що дає можливість дати оцінку початковому дефектному стану матеріалу та спрогнозувати подальший період експлуатації пластин.

Критерієм наявних дефектів та недосконалостей структур є зміна індексів чорноти хемографічного зображення, мінімальне значення якого свідчить про мінімум структурних порушень та внутрішніх дефектів у досліджуваних матеріалах.

Отримані результати дозволяють запропонувати новий оригінальний метод контролю поверхні ріжучих пластин, який може бути легко реалізований у будь-якому механічному цеху, що робить його застосування цілком перспективним.

Ключові слова: хемографія, внутрішні дефекти, мікропошкодження, викришування покриття, наступ відмови, поступовий знос, реакції малих концентрацій, ріжучий інструмент, прогнозування надійності.