



MECHANICAL ENGINEERING TECHNOLOGY

DOI: 10.15587/2706-5448.2021.229180

INFLUENCE OF CONSTRUCTIVE AND GEOMETRIC PARAMETERS OF THE END CUTTERS ON THE MICROPROFILE CHARACTERISTICS OF CASTING SURFACES

pages 6–10

Yaroslav Kusyi, PhD, Associate Professor, Department of Robotics and Integrated Mechanical Engineering Technologies, Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5741-486X>, e-mail: jarkym@ukr.net

Andrij Kuk, PhD, Associate Professor, Department of Robotics and Integrated Mechanical Engineering Technologies, Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9145-243X>, e-mail: andrij.kuk@gmail.com

Volodymyr Topilnytskyi, PhD, Associate Professor, Department of Designing and Operation of Machines, Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5191-326X>, e-mail: topilnvol@gmail.com

Dariya Rebot, PhD, Assistant, Department of Designing and Operation of Machines, Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3583-0800>, e-mail: dasha_kotlyarova@ukr.net

Mykhailo Bojko, Senior Lecturer, Department of Designing and Operation of Machines, Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7955-5062>, e-mail: osnastka@ukr.net

The object of research is the technological route of machining of an aluminum alloy casting. The research carried out is based on the basic principles of functionally oriented design of technological processes in the manufacture of products. The main hypothesis of the study is the need for a systematic approach to study the effect of cutting modes of a certain method of machining on the provision of quality parameters in the technological system (machine – device – tool – workpiece). In traditional automated systems for technological preparation of production, an object-oriented principle of designing technological processes is implemented, which provides for the step-by-step implementation of interrelated stages based on a prototyping algorithm without a functional analysis of the operational characteristics of the product. The processing of functional, mating surfaces, ensuring that the product performs its service purpose, must be implemented according to the principle of function-oriented design (FODT). A characteristic feature of FODT is the technological provision of effective operational characteristics of the product in compliance with the parameters of accuracy and quality of the surface layer of the product intended by the designer. The paper deals with the influence of the structural and geometric parameters of end mills manufactured by Sandvick (Sandviken, Sweden) on the formation of microrelief parameters of an aluminum alloy casting profile during machining on a numerically controlled vertical milling center (CNC) HAAS MINIMILL (USA). An atypical option for the FODT principle of the technological route of machining the surfaces of workpieces of machine-building products has been applied. Its feature is ignoring

the requirements of the manufacturer of metal-cutting tools, which is an important element of the technological system (machine – tool – device – workpiece), regarding its use for a particular machine tool at a certain technological transition of machining. The performance criteria were the height and step characteristics of the microrelief of the profile of the surface layer of the workpiece being processed. The operating conditions of machine-building products have been determined, which make it possible to establish, in case of deviation from the manufacturer's recommendations at the stage of technological preparation of production, the rational elements of a certain technological system: a metal-cutting machine – a device – a metal-cutting tool – a workpiece and processing modes to ensure the necessary operational characteristics.

Keywords: mechanical surface treatment, surface quality parameters, surface microprofile, functionally oriented design, technological route.

References

1. Kusyi, Ya., Stupnytskyi, V. (2020). Optimization of the Technological Process Based on Analysis of Technological Damageability of Casting. *Advances in Design, Simulation and Manufacturing III. The Innovation Exchange, DSMIE-2020. Vol. 1: Manufacturing and Materials Engineering*. Kharkiv, 276–284. doi: http://doi.org/10.1007/978-3-030-50794-7_27
2. Gubaydulina, R. H., Gruby, S. V., Davlatov, G. D. (2016). Analysis of the Lifecycle of Mechanical Engineering Products. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 142, 012060. doi: <http://doi.org/10.1088/1757-899x/142/1/012060>
3. Aftanaziv, I. S., Shevchuk, L. I., Strohan, O. I., Kuk, A. M., Sam-sin, I. L. (2019). Improving reliability of drill pipe by strengthening of thread connections of its elements. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 4, 22–29. doi: <http://doi.org/10.29202/nvngu/2019-4/8>
4. Pronikov, A. S. (2002). *Parametricheskaia nadezhnost mashin*. Moscow: Izd-vo MGTU im. N. E. Bauman, 560.
5. Suslov, A. G., Dalskii, A. M. (2002). *Nauchnye osnovy tekhnologii mashinostroeniia*. Moscow: Mashinostroenie, 684.
6. Suslov, A. G. (2000). *Kachestvo poverkhnostnogo sloia detalei mashin*. Moscow: Mashinostroenie, 320.
7. Kheifetz, M. L., Vasilyev, A. S., Klimenko, S. A. (2019). Technological Control of the Heredity of Operational Quality Parameters for Machine Parts. *Advanced Materials & Technologies*, 2 (14), 8–18. doi: <http://doi.org/10.17277/amt.2019.02.pp.008-018>
8. Stupnytskyi, V. (2013). Features of Functionally-Oriented Engineering Technologies in Concurrent Environment. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 2 (9), 1181–1186.
9. Lachmayer, R., Mozgova, I., Reimche, W., Colditz, E., Mroz, G., Gottwald, P. (2014). Technical Inheritance: A Concept to Adapt the Evolution of Nature to Product Engineering. *Procedia Technology*, 15, 178–187. doi: <http://doi.org/10.1016/j.protcy.2014.09.070>
10. Kusyi, Y. M., Kuk, A. M. (2020). Investigation of the technological damageability of castings at the stage of design and technological preparation of the machine Life Cycle. *Journal of Physics: Conference Series*, 1426, 012034. doi: <http://doi.org/10.1088/1742-6596/1426/1/012034>
11. Beziazychnii, V. F., Kiselev, E. V. (2016). Raschet rezhimov rezaniia, obespechivaiuschikh kompleks trebuemykh parametrov tochnosti obrabotki i kachestva poverkhnostnogo shara. *Metallo-obrabotka*, 6 (96), 9–17.

12. Bratukhin, A. G., Dmitriev, V. G. (2007). CALS – strategii naukoemkogo mashinostroeniia. *Naukoemkie tekhnologii*, 3, 10–25.
13. Dorosinskii, L. G., Zvereva, O. M. (2016). *Informatsionnye tekhnologii podderzhki zhiznennogo tsikla izdeliia*. Ulianovsk: Zebra, 243.
14. Yurchyshyn, I. I., Lytvyniak, Ya. M., Hrytsai, I. Ye. et. al.; Yurchyshyn, I. I. (Ed.) (2009). *Tekhnolohiia mashynobuduvannia: Posibnyk-dovidnyk dlia vykonannia kvalifikatsiinykh robot*. Lviv: Vydavnytstvo Natsionalnoho universytetu «Lvivska politekhnika», 528.
15. Stupnytskyi, V., Hrytsay, I. (2020). Comprehensive analysis of the product's operational properties formation considering machining technology. *Archive of mechanical engineering*, 67 (2), 1–19. doi: <http://doi.org/10.24425/ame.2020.131688>
16. Pekelis, G. D., Gelberg, B. T. (1984). *Tekhnolohiia remonta metallorzhushchikh stankov*. Moscow: Mashinostroenie, Leningr. otd.-nie, 240.
17. Sulima, A. M., Shulov, V. A., Iagodkin, Iu. D. (1988). *Poverkhnostnii sloi i ekspluatatsionnye svoivstva detalei mashin*. Moscow: Mashinostroenie, 240.
18. Demkin, N. B., Ryzhov, E. V. (1981). *Kachestvo poverkhnosti i kontakt detalei mashin*. Moscow: Mashinostroenie, 244.
19. Iascheritsyn, P. I., Minakov, A. P. (1986). *Uprochniauschaia obrabotka nezhestkikh detalei v mashinostroeni*. Minsk: Nauka i tekhnika, 215.
20. Shyrokov, V. V., Arendar, L. A., Kovalchuk, Yu. I., Vasylyv, Kh. B., Vasylyv, O. M. (2005). Kompiuternyi obrobok profilohram fryktsiinykh poverkhon. *Fizyko-khimichna mekhanika materialiv*, 1, 93–96.
21. Kusyi, Ya. M., Topilnytskyi, V. H., Vasylyv, Kh. B. (2011). Doslidzhennia mikroreliefu vibrozmitsnennykh vtulok burovykh pomp. *Visnyk Nats. un-tu «Lvivska politekhnika». Optymizatsiia vyrobnychyykh protsesiv i tekhnichnyi kontrol u mashynobuduvanni ta prykladobuduvanni*, 713, 171–175.

METALLURGICAL TECHNOLOGY

DOI: 10.15587/2706-5448.2021.229163

COMPLEX EFFECT OF SULFUR AND PHOSPHORUS ON THE CHARACTERISTICS OF WHEEL STEEL OF KP-T BRAND BEFORE AND AFTER MODIFICATION

pages 11–14

Serhii Polishko, PhD, Senior Researcher, Associate Professor, Department of Production Technology, Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine, e-mail: polishkopsa@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4388-2317>

The object of the research is KP-2 wheel steel modified by the Al-Mg-Si-Fe-C-Ca-Ti-Ce system. One of the most problematic places in the smelting of modern steel is the stability of the chemical composition due to the use of uncontrolled content of scrap, charge and standard modifiers, which are made by the fused method.

To eliminate this problem, multifunctional modifiers were used during the study. This is due to the fact that the KP-2 steel modification method proposed in this article, has a number of features. In this case, the influence modifiers of multifunctional action on the installation of vacuum processing of steel on desulfurization of wheel steel KP-2, obtained under the conditions of the open joint-stock company Interpipe NTRP (Dnipro, Ukraine), was established. In particular, when treating a steel melt with multifunctional modifiers, not only a refining effect occurs, but also an increase in the stability of the chemical composition and level of mechanical characteristics of the KP-2 wheel steel. This is confirmed by the coefficients of variation and interfusion difference presented in the article (span), obtained by statistical processing of a large data set – 442 serial smeltings and 1 modified (6 wheels).

Thanks to the multifunctional modification, the level of mechanical characteristics and the quality of the finished wheels really increases. Compared with similar mass-produced materials, such as FeSi, FeCa, FeMn, SiCa, the use of new multifunctional modifiers in KP-2 wheel steel provides a significant reduction in the mass fraction of sulfur than in the same metal that is processed in the traditional way. It has been established that the use of multifunctional modifiers changes the shape of non-metallic inclusions to globular and reduces their number, which also increases the level of mechanical properties of KP-2 wheel steel. The obtained coefficients of variation prove that

the mechanical characteristics of KP-2 modified steel are more stable than in serial melts of the same steel. This will increase the demand and quality of these railway wheels.

Keywords: modifiers of multifunctional action, chemical composition of steel, mechanical characteristics of steel, non-metallic inclusions.

References

1. Shapovalova, O. M., Shapovalov, V. P., Shapovalov, O. V., Polishko, S. O. (2011). Pat. No. 93684 UA. *Deoxidizing-conditioning agent for processing of smeltings of steels and alloys*. MPK: C22C 35/00, C22C 1/06 (2006.01), C22B 9/10 (2006.01), C21C 1/00, C21C 7/06 (2006.01). No. a200801124; declared: 30.01.2008; published: 10.03.2011, Bul. No. 5, 4.
2. Murakami, Y. (2019). *Metal Fatigue: Effects of Small Defects and Nonmetallic Inclusions*. Academic Press, 733. doi: <http://doi.org/10.1016/c2016-0-05272-5>
3. Ren, Y., Zhang, L., Yang, W., Duan, H. (2014). Formation and Thermodynamics of Mg-Al-Ti-O Complex Inclusions in Mg-Al-Ti-Deoxidized Steel. *Metallurgical and Materials Transactions B*, 45 (6), 2057–2071. doi: <http://doi.org/10.1007/s11663-014-0121-0>
4. Ostash, O. P., Andreiko, I. M., Kulyk, V. V., Prokopets, V. I. (2012). Tsyklichna trishchynostiikist stali zaliznychnykh kolis typu KP-2 i KP-T za vplyvu ekspluatatsiinykh temperaturno-sylovykh faktoriv. *Problemi mekhaniky zheleznodorozhnoho transporta: Bezopasnost dvyzheniya, dynamyka, prochnost podvyzhnogo sostava, enerhosberezhennya*. Donetsk: DNUZhT, 105–106.
5. Sokolov, I. L., Sokolova, E. V. (2020). Osobennosti desulfuratsii nizkokuglerodistykh, nizkokremnistoi stali na agregate «kovshpech». *Teoriia i tekhnolohiia metallurgicheskogo proizvodstva*, 3 (34), 4–8.
6. Lychagina, T., Nikolayev, D., Sanin, A., Tatarko, J., Ullemeyer, K. (2015). Investigation of rail wheel steel crystallographic texture changes due to modification and thermomechanical treatment. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 82, 012107. doi: <http://doi.org/10.1088/1757-899x/82/1/012107>
7. Liu, K. P., Dun, X. L., Lai, J. P., Liu, H. S. (2011). Effects of modification on microstructure and properties of ultrahigh carbon (1.9 wt. % C) steel. *Materials Science and Engineering: A*, 528 (28), 8263–8268. doi: <http://doi.org/10.1016/j.msea.2011.07.038>
8. Prigunova, A. G., Petrov, S. S. (2016). Structure of metallic melts and its relation with the solid state. *Metaloznavstvo ta obrobka metaliv*, 2, 17–27.

9. Brebbia, C., Connor, J. J., Newkirk, J. W., Popov, A. A., Zhilin, A. S. (2018). *Progress in Materials Science and Engineering*. Springer, 203. doi: <http://doi.org/10.1007/978-3-319-75340-9>
10. Khrapov, G. A., Shilovekikh, O. Iu., Tiulenev, E. N., Dolgikh, Iu. N. (2016). Povyshenie effektivnosti desulfuratsii na ustanovkakh kovsh-pech pri obrabotke stali s nizkim sodержaniem kremniia. *Stal*, 3, 12–13.
11. Öchsner, A., Altenbach, H. (Eds.) (2018). *Improved Performance of Materials: Design and Experimental Approaches*. Springer International Publishing AG, 277. doi: <http://doi.org/10.1007/978-3-319-59590-0>
12. Francis, R. A. (2017). *An introduction to the metallurgy of steel and its alloys*. Ashburton, 182.
13. Polishko, S. O. (2019). Influence of multifunctional modification on stabilization of chemical composition of wheel steels. *Journal of Chemistry and Technologies. Bulletin of Dnipropetrovsk university. Series Chemistry*, 27 (1), 31–39. doi: <http://doi.org/10.15421/081903>
14. DSTU GOST 10791-2016. *Kolesa tselmokatanaye* (2016). Standartinform, 29.
15. Voinov, A. R., Ri, E. X. (2018). *Tekhnologiya kompleksnoi obrabotki staley na agregate «kovsh-pech» (ladle-furnace)*. Khabarovsk: Tikhookeanskii gosudarstvennii universitet (TOGU), 64.

MATERIALS SCIENCE

DOI: 10.15587/2706-5448.2021.229172

INFLUENCE OF FORMING PRESSURE ON FROST RESISTANCE OF CERAMICS

pages 15–20

Irina Subota, PhD, Associate Professor, Department of Chemical Technology of Ceramics and Glass, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine, e-mail: 0503850107@ukr.net, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1581-8513>

Larysa Spasonova, PhD, Associate Professor, Department of Chemical Technology of Ceramics and Glass, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine, e-mail: lar_spas@yahoo.com, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7562-7241>

Anastasia Sholom, Department of Chemical Technology of Ceramics and Glass, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine, e-mail: anastasia14.sholom@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2043-5389>

The object of research is low-melting clays of the Kyiv region (Ukraine). The work is devoted to the study of obtaining ceramic materials resistant to low temperatures. Frost resistance is one of the most important characteristics for regions in which ceramic materials are used with frequent temperature transitions through 0 °C. The production of frost-resistant ceramic wall materials is determined by the type of raw materials and technological production parameters. The main technological methods for increasing frost resistance are: the use of less dispersed clays; batch homogenization; formation of raw material without textural defects and prevention of cracks during drying and firing.

The work shows that the existing methods for increasing frost resistance can be implemented by reducing water absorption due to the creation of a microporous structure with predominantly closed pores by increased pressure of a semi-dry method of formation. An increase in the pressing pressure leads to an increase in the number of contacts of the molecules of the ceramic mass at the stage of formation. Due to this, the strength of the molded samples at a pressing pressure of more than 30 MPa is higher compared to samples molded by the plastic method. It was also found that an increase in the pressing pressure makes it possible to speed up the drying process of ceramic products, reducing energy consumption for their production. Due to an increase in the pressing pressure to 50 MPa, the strength of samples obtained by semi-dry pressing is 55.4 MPa,

while for samples during plastic formation it is 22.9 MPa. Water absorption, on the contrary, for dry pressing is 9.3 %, while for plastic pressing it is 12.2 % at a firing temperature of 1000 °C.

It is shown that increasing the pressing pressure is an effective way to improve the quality of ceramic materials based on local low-plasticity clay raw materials. Saving natural and energy resources, developing new sources of raw materials and comprehensive improvement of products with environmental friendliness of production remain important today.

Keywords: ceramic materials, clay raw materials, frost resistance of ceramic materials, water absorption of ceramic products.

References

1. European Commission. Study on the EU's list of Critical Raw Materials (2020). *Factsheets on Non-critical Raw Materials*. Available at: https://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/specific-interest/critical_en
2. Spasonova, L., Subota, I., Sholom, A. (2021). Devising technology for utilizing water treatment waste to produce ceramic building materials. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (10 (109)), 14–22. doi: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.225256>
3. Guzman, I. Ia. (Ed.) (2003). *Khimicheskaya tekhnologiya keramiki*. Moscow: OORIF «Stroimaterialy», 496.
4. Vodopohlynannia ta morozostiikist keramohranitu (2018). Available at: <https://zeusceramica.com/news/view/vodopoglinanna-ta-morozostijkist-keramohranitu>
5. Molnar, E., Rajnovic, D., Sidjanin, L., Ranogajec, J. (2003). Frost resistance characteristics and pores structure of ceramic tiles. *Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara*, 1 (3), 155–161.
6. Piddubnyi, S. V., Tatarchenko, H. O., Sokolenko, V. M. (2020). Express Method for the Evaluation of the Frost Resistance of Silicate Building Materials. *Materials Science*, 56 (2), 240–246. doi: <http://doi.org/10.1007/s11003-020-00422-0>
7. Ranogajec, J., Mesaros, A., Kermeci, P., Radeka, M., Vojnic, S. (2004). Microstructural Approach to Frost Resistance of Ceramic Roofing Tiles. *Key Engineering Materials*, 264-268, 1577–1580. doi: <http://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.264-268.1577>
8. Mačiulaitis, R., Kičaitė, A., Nagrockienė, D., Kudabiene, G. (2004). Evaluation of service frost resistance of ceramic facing tiles. *Journal of Civil Engineering and Management*, 10 (4), 285–293. doi: <http://doi.org/10.1080/13923730.2004.9636321>
9. Zygadlo, M., Piasta, Z. (1987). Prediction of frost resistance of ceramic building materials by non-destructive methods. *Proceedings of the Fourth International Conference on Durability of Building Materials and Components*, 899–904. doi: <http://doi.org/10.1016/b978-1-4832-8386-9.50122-4>
10. Avgustinik, A. I. (1975). *Keramika*. Leningrad: Stroizdat, 189.

11. Salakhov, A. M., Salakhova, R. A. (2013). *Keramika: issledovanie syria, struktura, svoistva*. Kazan: Izd-vo KNITU, 316.
12. *Ceramics for Strength*. Available at: [https://sanjosedelta.com/material-properties/ceramic-characteristics/ceramics-for-strength/#:~:text=For%20a%20metal%2C%20the%20compressive,350%2C000%20psi%20\(2400%20MPa\)](https://sanjosedelta.com/material-properties/ceramic-characteristics/ceramics-for-strength/#:~:text=For%20a%20metal%2C%20the%20compressive,350%2C000%20psi%20(2400%20MPa)).
13. Malaiškienė, J., Mačiulaitis, R. (2013). Frost Resistant Ceramics Produced From Local Raw Materials and Wastes. *Procedia Engineering*, 57, 739–745. doi: <http://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.04.093>
14. Pérez, J. M., Rincón, J. Ma., Romero, M. (2012). Effect of moulding pressure on microstructure and technological properties of porcelain stoneware. *Ceramics International*, 38 (1), 317–325. doi: <http://doi.org/10.1016/j.ceramint.2011.07.009>
15. Naumov, A. A., Iundin, A. N. (2013). Vliianie udelnogo davleniia pressovaniia i temperatury obzhiga na morozostoikost keramicheskogo cherepka iz modifitsirovannogo Atiukhtinskogo glinistogo syria. *Inzhenerii vestnik Dona*, 4 (27). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-udelnogo-davleniya-pressovaniya-i-temperatury-obzhiga-na-morozostoykost-keramicheskogo-cherepka-iz-modifitsirovannogo>
16. *Tekhnologiiia keramicheskikh dielektrikov – granulirovanie i pressovanie poroshkov iskhodnykh komponentov*. Available at: <https://leg.co.ua/arhiv/raznoe-arhiv/tehnologiya-keramicheskikh-dielektrikov-9.html>
17. Guzman, I. Ia. (Ed.) (2005). *Praktikum po tekhnologii keramiki*. Moscow: OOO RIF «STROIMATERIALY», 334.

DOI: 10.15587/2706-5448.2021.228943

INFLUENCE OF HEATING TO HIGH TEMPERATURES ON MECHANICAL PROPERTIES OF BORIDE-BASED REFRACTORY MATERIALS

pages 21–25

Anastasiia Lokatkina, Postgraduate Student, Department of High-Pressure Technologies, Functional Ceramic Composites and Disperse Superhard Materials, V. Bakul Institute for Superhard Materials of National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine, e-mail: aslokatkina@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6778-117X>

Tetiana Prikhna, Doctor of Technical Science, Professor, Corresponding Member of National Academy of Sciences of Ukraine, Head of Department of High-Pressure Technologies, Functional Ceramic Composites and Disperse Superhard Materials, V. Bakul Institute for Superhard Materials of National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine, e-mail: prikhna@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1621-0681>

Viktor Moshchil, Senior Researcher, Department of High-Pressure Technologies, Functional Ceramic Composites and Disperse Superhard Materials, V. Bakul Institute for Superhard Materials of National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine, e-mail: vik_ism@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2147-067X>

Pavlo Barovitskiy, Junior Research, Department of High-Pressure Technologies, Functional Ceramic Composites and Disperse Superhard Materials, V. Bakul Institute for Superhard Materials of National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine, e-mail: barovitskp@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7594-8619>

Oleksandr Borimsky, Leading Researcher, Department of High-Pressure Technologies, Functional Ceramic Composites and

Disperse Superhard Materials, V. Bakul Institute for Superhard Materials of National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine, e-mail: lab7@ism.kiev.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3104-4976>

Leonid Devyn, Leading Researcher, Department of Physical and Mechanical Research and Nanotesting of Materials, V. Bakul Institute for Superhard Materials of National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine, e-mail: ldevin350@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1452-9904>

Semyon Ponomaryov, Junior Researcher, Department of Optics and Spectroscopy for Electrical and Electrical Materials, V. E. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine, e-mail s.s.ponomaryov@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4548-4275>

Richard Haber, Professor, Co-Director, Ceramic, Composite and Optical Materials Center, Department of Materials Science and Engineering, Rutgers, The State University of New Jersey, New Brunswick, USA, e-mail: rhaber1@rci.rutgers.edu, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0399-2530>

Tatiana Talako, Leading Researcher, State Scientific Institution «Powder Metallurgy Institute», Minsk, Belarus, e-mail: talako@tut.by, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3156-105X>

Anatoly Bondar, Senior Researcher, Department No. 6 of Physical Chemistry of Inorganic Materials, Institute for Problems of Materials Sciences of National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine, e-mail: aa_bondar@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7855-4909>

The object of research is HfB₂, ZrB₂ and ceramics composition HfB₂-30 % SiC and ZrB₂-20 % SiC, ZrB₂-20 % SiC-4 % Si₃N₄ obtained under high pressure, their mechanical characteristics before and after heating to high temperatures and temperatures of beginning of melting. The research was conducted in order to create new effective refractory materials for use in the aerospace industry. Therefore, the melting temperatures of sintered materials and the effect of heating on their mechanical properties were also studied. Additives (ZrB₂-20 % SiC and HfB₂-30 % SiC) although led to a decrease in specific gravity. But increased hardness (by 17 % and 46% in the case of ZrB₂ and HfB₂, respectively) and fracture toughness (by 40 % and 21 % in the case of ZrB₂ and HfB₂, respectively). However, significantly reduced the onset of melting temperature in vacuum to 2150–2160 °C.

Materials sintered from ZrB₂ and HfB₂ was not melted after heating to 2970 °C. After heating to a melting point of 2150–2160 °C (in the case of materials with additives) and to temperatures of 2970 °C (in the case of materials sintered with ZrB₂ or HfB₂), the hardness and fracture toughness decreased. Thus, the hardness of the material prepared from ZrB₂ decreased by 19 % and its fracture toughness – by 18 %, and of that prepared from ZrB₂ – 20 % SiC – by 46 % and 32 %, respectively. The hardness of the material prepared from HfB₂ decreased by 46 %, its fracture toughness – by 55 %, and of that prepared from HfB₂-30 % SiC, after heating decreased by 40 %, but its fracture toughness increased by 15 %. The sintered HfB₂ (with a density of 10.4 g/cm³) before heating showed a hardness of $H_V(9.8\text{ N})=21.27\pm 0.84\text{ GPa}$, $H_V(49\text{ N})=19.29\pm 1.34$ and $H_V(98\text{ N})=19.17\pm 0.5$, and fracture toughness $K_{1C}(9.8\text{ N})=0.47\text{ MH}\cdot\text{m}^{0.5}$, and ZrB₂ with a density of 6.2 g/cm³ was characterized by $H_V(9.8\text{ N})=$

=17.66±0.60 GPa, $H_V(49\text{ N})=15.25\pm1.22$ GPa and $H_V(98\text{ N})=15.32\pm0.36$ GPa, $K_{1C}(9.8\text{ N})=4.3$ MH·m^{0.5}. Material sintered with HfB₂-30 % SiC (density 6.21 g/cm³) had $H_V(9.8\text{ N})=38.1\pm1.4$ GPa, $H_V(49\text{ N})=27.7\pm2.8$ GPa, and $K_{1C}(9.8\text{ N})=8.1$ MH·m^{0.5}, $K_{1C}(49\text{ H})=6.8$ MH·m^{0.5}. The sintered with ZrB₂-20 % SiC material had density of 5.04 g/cm³, $H_V(9.8\text{ N})=24.2\pm1.9$ GPa, $H_V(49\text{ N})=16.7\pm2.8$ GPa, $K_{1C}(49\text{ H})=7.1$ MH·m^{0.5}. The SiC addition to the initial mixture significantly reduces the elasticity of the materials.

Keywords: zirconium diboride, hafnium diboride, silicon carbide, silicon nitride, ultrahigh-temperature ceramics, refractory borides.

References

1. Upadhyaya, K., Yang, J. M., Hoffmann, W. P. (1997). Materials for ultra high temperature structural applications. *American Ceramic Society Bulletin*, 76, 51–56.
2. Sichkar, S. M., Antonov, V. N., Antropov, V. P. (2013). Comparative study of the electronic structure, phonon spectra, and electron-phonon interaction of ZrB₂ and TiB₂. *Physical Review B*, 87 (6). doi: <http://doi.org/10.1103/physrevb.87.064305>
3. Zhang, G.-J., Guo, W.-M., Ni, D.-W., Kan, Y.-M. (2009). Ultra-high temperature ceramics (UHTCs) based on ZrB₂ and HfB₂ systems: Powder synthesis, densification and mechanical properties. *Journal of Physics: Conference Series*, 176, 012041. doi: <http://doi.org/10.1088/1742-6596/176/1/012041>
4. Guo, S.-Q. (2009). Densification of ZrB₂-based composites and their mechanical and physical properties: A review. *Journal of the European Ceramic Society*, 29 (6), 995–1011. doi: <http://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2008.11.008>
5. Squire, T. H., Marschall, J. (2010). Material property requirements for analysis and design of UHTC components in hypersonic applications. *Journal of the European Ceramic Society*, 30 (11), 2239–2251. doi: <http://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2010.01.026>
6. McCusker, L. B., Von Dreele, R. B., Cox, D. E., Louër, D., Scardi, P. (1999). Rietveld refinement guidelines. *Journal of Applied Crystallography*, 32 (1), 36–50. doi: <http://doi.org/10.1107/s0021889898009856>
7. Glagovskii, B. A., Roitshtein, G. Sh., Iashin, V. A. (1980). *Kontrolno-izmeritelnye pribori i osnovi avtomatizatsii proizvodstva abrazivnykh instrumentov*. Leningrad: Mashinostroenie, 278.
8. Baranov, V. M. (1972). Opredelenie konstant uprugosti obratstv materialov, imeiuschikh formu diska. *Zavodskaja laboratorija*, 9, 1120–1124.
9. Pirani, M., Alterthum, H. (1923). On a method for determining the melting point of refractory metals. *Z. Elektrochem.*, 29 (1–2), 5–8.
10. Bondar, A. A., Maslyuk, V. A., Velikanova, T. Y., Grytsiv, A. V. (1997). Phase equilibria in the Cr-Ni-C system and their use for developing physicochemical principles for design of hard alloys based on chromium carbide. *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*, 36 (5-6), 242–252. doi: <http://doi.org/10.1007/bf02676213>
11. Velikanova, T. Y., Bondar, A. A., Grytsiv, A. V. (1999). The chromium-nickel-carbon (Cr-Ni-C) phase diagram. *Journal of Phase Equilibria*, 20 (2), 125–147. doi: <http://doi.org/10.1007/s11669-999-0011-3>
12. Zapata-Solvas, E., Jayaseelan, D. D., Lin, H. T., Brown, P., Lee, W. E. (2013). Mechanical properties of ZrB₂- and HfB₂-based ultra-high temperature ceramics fabricated by spark plasma sintering. *Journal of the European Ceramic Society*, 33 (7), 1373–1386. doi: <http://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2012.12.009>
13. Prikhna, T., Lokatkina, A., Moshchil, V., Barvitskiy, P., Borimsky, O., Ponomaryov, S. et. al. (2020). Investigation of mechanical characteristics of materials based on refractory borides. *Technology Audit and Production Reserves*, 6 (1 (56)), 40–44. doi: <http://doi.org/10.15587/2706-5448.2020.220320>

14. Rudy, E. (1969). Ternary phase equilibria in transition metal-boron-carbon systems: part V, compendium of phase diagram data. *Technical Report AFML-TR-65-2. Wright Patterson Air Force Base (OH): Air Force Materials Laboratory.*
15. Portnoi, K. I., Romashov, V. M., Salibekov, S. E. (1971). Constitution diagram of the system tantalum-boron. *Soviet Powder Metallurgy and Metal Ceramics*, 10 (11), 925–927. doi: <http://doi.org/10.1007/bf00794010>
16. Glasser, F. W., Post, B. (1953). Phase diagram zirconium-boron. *Trans Metallurgical Soc AIME*, 197, 1117–1118.
17. Rogl, P., Potter, P. E. (1988). A critical review and thermodynamic calculation of the binary system: Zirconium-boron. *Calphad*, 12 (2), 191–204. doi: [http://doi.org/10.1016/0364-5916\(88\)90021-1](http://doi.org/10.1016/0364-5916(88)90021-1)
18. Neschpor, V. S., Samsonov, G. V. (1957). The brittleness of metal-like compound. *Fiz.:Metal. i Metalloved.*, 4, 181.
19. Wiley, D. E., Manning, W. R., Hunter, O. (1969). Elastic properties of polycrystalline TiB₂, ZrB₂ and HfB₂ from room temperature to 1300 °K. *Journal of the Less Common Metals*, 18 (2), 149–157. doi: [http://doi.org/10.1016/0022-5088\(69\)90134-9](http://doi.org/10.1016/0022-5088(69)90134-9)
20. Zhu, S., Fahrenholtz, W. G., Hilmas, G. E. (2007). Influence of silicon carbide particle size on the microstructure and mechanical properties of zirconium diboride–silicon carbide ceramics. *Journal of the European Ceramic Society*, 27 (4), 2077–2083. doi: <http://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2006.07.003>
21. Mallik, M., Ray, K., Mitra, R. (2017). Effect of Si₃N₄ Addition on Oxidation Resistance of ZrB₂-SiC Composites. *Coatings*, 7 (7), 92. doi: <http://doi.org/10.3390/coatings7070092>

DOI: 10.15587/2706-5448.2021.229673

ANALYSIS OF TECHNOLOGICAL POTENTIAL FOR UTILIZATION OF WASTE AVIATION LUBRICATING MATERIALS

pages 26–32

Sergii Boichenko, Doctor of Technical Sciences, Professor, Leading Researcher, National Aviation University, Kyiv, Ukraine, e-mail: chemmotology@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2489-4980>

Anna Yakovlieva, PhD, Leading Researcher, National Aviation University, Kyiv, Ukraine, e-mail: anna.yakovlieva@nau.edu.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7618-7129>

Utku Kale, PhD, Assistant Professor, Department of Aeronautics, and Naval Architecture, Budapest University of Technology and Economics, Budapest, Hungary, e-mail: ukale@vrht.bme.hu, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9178-5138>

András Nagy, PhD, Associate Professor, Department of Mechanical Engineering, University of Dunaujváros, Dunaujváros, Hungary, e-mail: nagy.andras@uniduna.hu, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5665-4324>

The object of research is technologies for waste aviation oils and lubricants recycling and utilization. The work is devoted to the analysis of the current state and the assessment of the technological potential in the field of processing and disposal of aviation lubricants. The current state and dynamics of the market for the production and consumption of aviation lubricants are considered. The main properties and functions of aviation oils and lubricants are analyzed, the main technical requirements for them are formulated. A complex of physical and chemical processes that occur

in lubricants during their operation and long-term storage, and lead to a loss of their quality, is considered. It is shown that the main factors of quality deterioration are high-temperature destruction, oxidation, polymerization and condensation of hydrocarbons, mixing with fuel, and pollution with inorganic compounds. The main ecological as well as economic problems associated with the accumulation of waste lubricants are considered, their negative impact on the components of the environment and human health is described. So, the main negative effects are associated with their improper storage, discharge into water bodies or soils, as well as with their burning and the formation of toxic emissions. On the basis of this, the need for the development and implementation of integrated technologies for the disposal of waste lubricating materials is shown. The main directions, methods and technologies that are used for their utilization are presented. So, depending on the composition, quality and properties of waste lubricants, technologies for restoring their quality, processing technologies using them as raw materials for the production of similar petroleum products, technologies for obtaining low-quality fuels for stationary equipment based on them can be used. It is shown that the development and application of effective technologies for the disposal of used lubricants has a number of positive effects: minimization of the negative impact on the environment, savings and expansion of oil resources for the production of commercial petroleum products, and, as a result, saving money.

Keywords: aviation lubricants, quality change, waste lubricants, waste oil mixtures, quality restoration.

References

- Boichenko, S., Yakovlieva, A., Lejda, K., Kurdel, P. (2020). *Modern Road Transport's Operational materials*. Technical University of Košice, 279.
- Hester, R. E., Harrison, R. M. (2004). *Transport and the Environment*. Royal Society of Chemistry, 160.
- Sniderman, D. (2020). *What it Takes to be a Commercial Aviation Jet Engine Lubricant*. Machine Design. Available at: <https://www.machinedesign.com/mechanical-motion-systems/article/21124388/what-it-takes-to-be-a-commercial-aviation-jet-engine-lubricant>
- Gong, H., Yu, C., Zhang, L., Xie, G., Guo, D., Luo, J. (2020). Intelligent lubricating materials: A review. *Composites Part B: Engineering*, 202, 108450. doi: <http://doi.org/10.1016/j.compositesb.2020.108450>
- Kulyk, M. I. (2015). Utilization of waste motor oils: environmental-and economical aspect. Man and the environment. *Problems of neoecology*, 1-2, 122–128.
- Małuszyńska, I., Bielecki, B., Wiktorowicz, A., Małuszyński, M. J. (2012). Recykling materiałowy i surowcowy odpadów samochodowych. *Inżynieria Ekologiczna*, 28, 111–118.
- Aviation Lubricants Market. An annual report*. Available at: <https://www.marketsandmarkets.com/pdfdownloadNew.asp?id=37676118>
- Demirbas, A., Baluabaid, M. A., Kabli, M., Ahmad, W. (2015). Diesel Fuel From Waste Lubricating Oil by Pyrolytic Distillation. *Petroleum Science and Technology*, 33 (2), 129–138. doi: <http://doi.org/10.1080/10916466.2014.955921>
- Sethuramiah, A. (Ed.) (2003). *Lubricant technology a survey. Vol. 42*. Tribology Series. Elsevier, 35–65. doi: [http://doi.org/10.1016/s0167-8922\(03\)80005-6](http://doi.org/10.1016/s0167-8922(03)80005-6)
- Bartm J. C. J., Gucciardi, E., Cavallaro, S.; Bartm J. C. J., Gucciardi, E., Cavallaro, S. (Eds.) (2013). *Lubricant use and disposal*. Woodhead Publishing Series in Energy, Biolubricants. Woodhead Publishing, 755–823. doi: <http://doi.org/10.1533/9780857096326.755>
- Tsai, W.-T. (2011). An analysis of used lubricant recycling, energy utilization and its environmental benefit in Taiwan. *Energy*, 36 (7), 4333–4339. doi: <http://doi.org/10.1016/j.energy.2011.04.008>
- Aviation Lubricants Market by Type, Technology, End User, Application, and by Platform: Global Opportunity Analysis and Industry Forecast, 2020–2027*. Available at: <https://www.alliedmarket-research.com/aviation-lubricants-market-A07930>
- Boichenko, S. V., Yakovlieva, A. V., Vovk, O. O., Radomska, M. M., Cherniak, L. M., Shkilniuk, I. O. (2019). *Fundamentals of Chemotology*. Kyiv: National Aviation University, 296. doi: <http://doi.org/10.18372/40022>
- Boichenko, S., Spirkin, V. (2009). *Introduction into chemotology of fuels and lubricants. Part 1*. Odessa: Astroprint, 236.
- Evdokimov, A. Iu., Fuks, I. G., Liubinina, I. A. (2012). *Smazochnyye materialy v tekhnosfere i biosfere: ekologicheskii aspekt*. Kyiv: Atika, 292.
- Fuks, I., Spirkin, V., Shabalina, T. (2004). *Fundamentals of chemotology. Chemotology in oil and gas processing*. Moscow: Neft i gaz publishing, 280.
- Boichenko, S. V., Ivanchenko, O. V., Leida Kazymir, Frolov, V. F., Yakovlieva, A. V. (2019). *Ekolohistyka, retsyklinh i utylizatsiia transportu*. Kyiv: NAU, 266.
- Grigorov, A. B. (2012). Complex processing of used engine oils. *Energy saving. Energy. Energy audit*, 5 (99), 40–44.
- Chaika, O. H., Kovalchuk, O. Z., Chaika, Yu. A. (2009). Monitorynh utvorennia vidpratsovanykh olyv v Ukraini. *Visnyk Natsionalnoho universytetu «Lvivska politekhnika»*, 644, 221–224.
- Chaika, O. G., Khomko, N. Yu., Ilkiv, I. M., Malik, Yu. O. (2010). Development of a set of measures for the implementation of the system of harvesting waste oils. *Bulletin of the National University «Lviv Polytechnic»*, 667, 320–322.

ELECTRICAL ENGINEERING AND INDUSTRIAL ELECTRONICS

DOI: 10.15587/2706-5448.2021.228659

ALTERNATIVE EVALUATION OF VOLTAGE AT TOP OF TRANSMISSION LINE TOWER STRICKEN BY LIGHTNING

pages 33–39

Yevgeniy Trotsenko, PhD, Associate Professor, Department of Theoretical Electrical Engineering, National Technical Uni-

versity of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine, e-mail: y.trotsenko@kpi.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9379-0061>

Mandar Madhukar Dixit, Assistant Professor, Department of Electrical Engineering, Vishwaniketan Institute of Management Entrepreneurship and Engineering Technology, Maharashtra, India, e-mail: mmdixit@vishwaniketan.edu.in, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1959-7815>

Volodymyr Brzhezitsky, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Theoretical Electrical Engineering, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine, e-mail: v.brzhezitsky@kpi.ua, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9768-7544>

Yaroslav Haran, PhD, Assistant, Department of Theoretical Electrical Engineering, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine, e-mail: y.garan@kpi.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3242-9218>

The object of the research is a circuit that simulates a lightning strike to a tower of 220 kV power transmission line, taking into consideration the reflection of a current wave from 10 nearest towers. Computation of the voltage arising at the top of the stricken tower is necessary further to determine the lightning performance of transmission line by various methods. For Indian conditions, the average number of lightning strikes to this power line per 100 kilometers per year is about 77, which is a fairly high figure. As a rule, for the tasks of lightning protection, the lightning current is approximated by some analytical expression. In most cases, such expressions are various combinations of exponential functions. However, the waveform of real lightning currents on oscillograms differs significantly from the waveform attributed to them and approximated by relatively simple exponential expressions. For a more detailed study of transient processes caused by thunderstorm activity, there is a need to use oscillograms of real lightning currents when modeling.

The problem of determining the voltage at the top of the stricken transmission line tower was solved using circuit simulation. To simulate the lightning current, digitized oscillograms of real lightning currents with peak values of -5.256 kA and -133.586 kA were applied.

The article shows that the proposed approach gives a more accurate and visual representation of the transient process at the top of the stricken tower than the approximation of the lightning current by simple exponential expressions. Applying a simplified exponential description of the lightning current leads not only to a simplification of the nature of the transient process at the tower top, but also to an underestimation of the results to 8.8 %. The selection of the equivalent circuit for the power line towers also affects the result. Representation of towers in the equivalent circuit with lumped inductances leads to slightly higher values compared to application of surge impedances in the circuit. In this case, the smaller the current amplitude, the greater the difference (8.6 % in the domain of low currents and 1.9 % in the domain of high currents). Since this leads to some reserve during the computations of lightning performance, it is recommended to use an equivalent circuit with lumped inductance for a transmission line tower.

The conducted research contributes to the development of methods for calculating the lightning performance of power lines and extends the scope of application of circuit simulation programs.

Keywords: lightning flash, lightning performance, power line, wave reflection, oscillograms of real lightning currents.

References

- Nath, A., Manohar, G. K., Dani, K. K., Devara, P. C. S. (2009). A study of lightning activity over land and oceanic regions of India. *Journal of Earth System Science*, 118 (5), 467–481. doi: <http://doi.org/10.1007/s12040-009-0040-7>
- Indian Standard IS 2309:1989, Protection of buildings and allied structures against lightning – Code of practice (Second Revision) (1991). Bureau of Indian standards, 64.
- Vaisala Annual lightning report 2020. Ref. B212260EN-A (2021). Vaisala. Available at: <https://www.vaisala.com/sites/default/files/documents/WEA-MET-Annual-Lightning-Report-2020-B212260EN-A.pdf>
- Holle, R. L. (2008). Annual Rates of Lightning Fatalities by Country. *20th International lightning detection conference*, 1–14.
- Kamalapur, G. D., Sheelavant, V. R., Hyderabad, S., Pujar, A., Baksi, S., Patil, A. (2014). HVDC Transmission in India. *IEEE Potentials*, 33 (1), 22–27. doi: <http://doi.org/10.1109/mpot.2012.2220870>
- LaForest, J. J. (Ed.) (1982). *Transmission line reference book (345 kV and above)*. Electric Power Research Institute. Palo Alto, 640.
- Halkude, S. A., Ankad, P. P. (2014). Analysis and Design of Transmission Line Tower 220 kV: A Parametric Study. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 3 (8), 1343–1348.
- Bazutkin, V. V., Kadomskaia, K. P., Kostenko, M. V., Mikhailov, Iu. A. (1995). *Perenapriazheniia v elektricheskikh sistemakh i zashchita ot nikh*. Saint Petersburg: Energoatomizdat. Otdelenie, 320.
- Melo, M. O. B. C., Fonseca, L. C. A., Fontana, E., Naidu, S. R. (1997). Lightning Performance of Compact Transmission Lines. *International Conference on Power Systems Transients*. Seattle, 319–324.
- Sargent, M. A., Darveniza, M. (1969). Tower Surge Impedance. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, PAS-88 (5), 680–687. doi: <http://doi.org/10.1109/tpas.1969.292357>
- Datsios, Z. G., Mikropoulos, P. N., Tsovilis, T. E. (2019). Effects of Lightning Channel Equivalent Impedance on Lightning Performance of Overhead Transmission Lines. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, 61 (3), 623–630. doi: <http://doi.org/10.1109/temc.2019.2900420>
- Micro-Cap 12. *Electronic Circuit Analysis Program. Reference Manual* (2018). Sunnyvale: Spectrum Software, 1098. Available at: <http://www.spectrum-soft.com/download/rm12.pdf>
- De Conti, A., Visacro, S. (2007). Analytical Representation of Single- and Double-Peaked Lightning Current Waveforms. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, 49 (2), 448–451. doi: <http://doi.org/10.1109/temc.2007.897153>
- Trotsenko, Y., Brzhezitsky, V., Mykhailenko, V. (2019). Revised Effect of Inductive Voltage Drop Across Line Lead on Protective Level of Surge Arrester. *2019 IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON)*. Lviv, 341–344. doi: <http://doi.org/10.1109/ukrcon.2019.8879939>
- Trotsenko, Y., Brzhezitsky, V., Mykhailenko, V. (2020). Estimation of Discharge Current Sharing Between Surge Arresters with Different Protective Characteristics Connected in Parallel. *2020 IEEE 7th International Conference on Energy Smart Systems (ESS)*. Kyiv, 73–78. doi: <http://doi.org/10.1109/ess50319.2020.9160296>
- Hussein, A. M., Janischewskij, W., Milewski, M., Shostak, V., Rachidi, F., Chang, J. S. (2003). Comparison of current characteristics of lightning strokes measured at the CN Tower and at other elevated objects. *2003 IEEE Symposium on Electromagnetic Compatibility. Symposium Record (Cat. No.03CH37446)*. Boston, 2, 495–500. doi: <http://doi.org/10.1109/isemc.2003.1236651>
- Narita, T., Yamada, T., Mochizuki, A., Zaima, E., Ishii, M. (2000). Observation of current waveshapes of lightning strokes on transmission towers. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 15 (1), 429–435. doi: <http://doi.org/10.1109/61.847285>

18. Rohatgi, A. (2020). *WebPlotDigitizer. Version 4.4. Pacifica*. Available at: <https://automeris.io/WebPlotDigitizer>
19. IEC 60071-1:2011. *Insulation co-ordination – Part 1: Definitions, principles and rules* (2011). Geneva: IEC Central Office, 74.

DOI: 10.15587/2706-5448.2021.229217

DETERMINATION OF INDUCTANCES FOR PULSATING CURRENT TRACTION MOTOR

pages 40–43

Sergey Goolak, PhD, Senior Lecturer, Department of Traction Rolling Stock of Railways, State University of Infrastructure and Technology, Kyiv, Ukraine, e-mail: sgoolak@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2294-5676>

Viktor Tkachenko, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department of Traction Rolling Stock of Railways, State University of Infrastructure and Technology, Kyiv, Ukraine, e-mail: v.p.tkachenko.detut@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5513-2436>

Seitlana Sapronova, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Cars and Carriage Facilities, State University of Infrastructure and Technology, Kyiv, Ukraine, e-mail: doc.sapronova@gmail.com, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1482-1665>

Oleksandr Spivak, PhD, Associate Professor, Department of Traction Rolling Stock of Railways, State University of Infrastructure and Technology, Kyiv, Ukraine, e-mail: alexspi@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2876-4067>

Ievgen Riabov, PhD, Associate Professor, Department of Electric Transport and Locomotive Engineering, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine, e-mail: riabov.ievgen@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0753-514X>

Oleksandr Ostroverkh, PhD, Associate Professor, Department of Car and Tractor Industry, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine, e-mail: ostrov.sasha@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8334-0286>

The object of research is a pulsating current traction motor. To improve the accuracy of its mathematical model, it is necessary to use the values of the parameters that are determined in experimental studies of the electric motor. In particular, it is important to use in the model of the electric motor inductance obtained experimentally. A method is proposed for calculating the inductance of the armature winding, main poles, additional poles and compensation winding and the total inductance of the traction motor armature circuit. The calculations are based on the results of the indirect inductance measurement method, in which the electrical values of various modes of power supply of the electric motor windings are directly measured, and the inductances are determined by auxiliary calculations. The inductances of the traction motor armature circuit have a non-linear dependence on the current flowing through them. The main difference of the study is that the measurements of the electrical parameters required for calculating the inductance are carried out over the entire range of operating currents of the windings. The essence of the proposed technique is to measure the active power in the armature

winding, the winding of the main and additional poles, and the compensation winding, as well as in the armature circle as a whole when they are supplied with alternating current. According to the obtained values of active power losses and phase displacement, the corresponding reactive power losses are determined, with the help of which the inductances of the motor windings are calculated. Approbation of the methodology for calculating the conduction inductance for an electric motor of a pulsating current NB-418K6 (country of origin Russia), is used on electric locomotives of the VL80T and VL80k series (country of origin Russia). A scheme for measuring electrical parameters necessary for calculating inductance is proposed. The graphical dependences of the inductance on the armature current, built on the basis of calculations, confirmed the hypothesis about the nonlinear dependence of these inductances on the armature current. For further application of the results obtained in the simulation of the operation of the traction electric motor NB-418K6, a polynomial approximation of the total inductance of the armature circuit was performed.

Keywords: pulsating current traction motor, armature current, total inductance of the armature winding.

References

1. Kulinich, Iu. M., Shukharev, S. A., Drogolov, D. Iu. (2019). Simulation of the pulsating current traction motor. *Vestnik nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta*, 78 (5), 313–319.
2. Pillai, B. M., Suthakorn, J. (2019). Motion control applications: observer based DC motor parameters estimation for novices. *International Journal of Power Electronics and Drive Systems (IJPEDS)*, 10 (1), 195–201. doi: <http://doi.org/10.11591/ijpeds.v10.i1.pp195-210>
3. Maznev, A. S., Nikitin, A. B., Kokurin, I. M., Kostrominov, A. M., Makarova, E. I. (2017). Improvement of the current-limiting devices of collector traction motors of direct-current electric rolling stock. *Russian Electrical Engineering*, 88 (10), 661–665. doi: <http://doi.org/10.3103/s1068371217100108>
4. Hulak, S. O., Yermolenko, E. K. (2016). Model system «Traction substation – contact net-work – traction drive of electric locomotives series VL-80 T, K». *Zbirnyk naukovykh prats Derzhavnogo ekonomikotekhnolohichnogo universytetu transportu. Seriya: Transportni systemy i tekhnolohii*, 28, 99–109.
5. Ahmed, A. S., Kabir, A. I., Shahjahan, M. (2017). Speed control of DC motor with FZ-D controller. *2017 3rd International Conference on Electrical Information and Communication Technology (EICT)*, 1–6. doi: <http://doi.org/10.1109/eict.2017.8275129>
6. Qawaqzeh, M. Z., Zagirnyak, M. V., Rodkin, D. Y., Bialobrzheskyi, O. V., Gladyr, A. I. (2019). The Analysis of the Components of the Power of a Direct Current Motor Armature Circuit at Periodic Change of Voltage. *2019 IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON)*, 576–581. doi: <http://doi.org/10.1109/ukrcon.2019.8879780>
7. Shantarenko, S., Kuznetsov, V., Ponomarev, E., Vaganov, A., Evseev, A. (2021). Influence of Process Parameters on Dynamics of Traction Motor Armature. *Transportation Research Procedia*, 54, 961–971. doi: <http://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.02.151>
8. Ismail, A. A. A., Elnady, A. (2019). Advanced Drive System for DC Motor Using Multilevel DC/DC Buck Converter Circuit. *IEEE Access*, 7, 54167–54178. doi: <http://doi.org/10.1109/access.2019.2912315>
9. Kopchak, B., Kopchak, M., Kushnir, A. (2019). Research of Alternating Current Single-Phase Collector Motor Models

Developed on the Basis of Project Design Data. *2019 IEEE XVth International Conference on the Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH)*, 135–139. doi: <http://doi.org/10.1109/memstech.2019.8817391>

10. Kharlamov, V. V., Popov, D. I., Stretentsev, A. I. (2018). Method of diagnosing the condition of the commutation of collector DC motors. *Izvestiia Transsiba, 3 (35)*, 81–90. Available at: <https://>

cyberleninka.ru/article/n/sposob-diagnostirovaniya-sostoyaniya-kommutatsii-kollektornyh-elektricheskikh-dvigatelya

11. Adcock, B., Brugiapaglia, S., Webster, C. G. (2017). *Compressed sensing approaches for polynomial approximation of high-dimensional functions. Compressed Sensing and its Applications*. Cham: Birkhäuser, 93–124. doi: http://doi.org/10.1007/978-3-319-69802-1_3

TECHNOLOGY AND SYSTEM OF POWER SUPPLY

DOI: 10.15587/2706-5448.2021.229999

CONSIDERATION OF THE PRINCIPLES FOR STABILIZING AND INCREASING OIL PRODUCTION AT THE LATER STAGE OF FIELD DEVELOPMENT (ON THE EXAMPLE OF UKRAINE FIELDS)

pages 44–47

Volodymyr Doroshenko, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Oil and Gas Technologies, Engineering and Heat Power Engineering, Odessa National Academy of Food Technologies, Odessa, Ukraine, e-mail: doroshenkovm444@gmail.com, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3408-6124>

Oleksandr Titlov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department of Oil and Gas Technologies, Engineering and Heat Power Engineering, Odessa National Academy of Food Technologies, Odessa, Ukraine, e-mail: titlov1959@gmail.com, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1908-5713>

The object of research is the oil industry. One of the most problematic issues in the industry is the transition of deposits to a late or final stage of their development. A significant number of deposits in Ukraine, USA, Russia, Poland, Azerbaijan began to be developed in the middle of the 19th century. To date, all the «old» fields are mostly depleted both in terms of hydrocarbon reserves and energy potential (reservoir pressure), and some are still in development, but in the so-called «late stage». At the same time, a significant number of relatively «young» fields have also entered the late stage of development, which is characterized, first of all, by a significant production of oil reserves, a progressive increase in water cut in wells, and an increase in the share of hard-to-recover reserves. As well as the transition to mechanized methods of oil production and the gradual increase in the stock of marginal wells, physical and moral deterioration of fixed assets of oil production with the threat of their mass retirement, deterioration of the ecological balance of the environment, and the like. Therefore, this work is devoted to the consideration of the principles of stabilizing and increasing oil production at a late stage of field development (using the example of Ukrainian fields). In the process of research, the original methods of classical scientific research were used, the main of which are analysis and synthesis, induction and deduction. An example of this is the proposed distribution of the structure of oil reserves into active and hard-to-recover ones. The study is based on statistical processing of a significant array of real information about the state and problems

of oil production, which is typical and characteristic not only of Ukrainian fields. A wide range of directions for investment activities in the field of oil production was obtained. These are, mainly, directions for increasing the resource base, enhancing the completeness of its production, organizing a controlled and controlled displacement of oil by water, including with the use of «reverse» technology, unification of equipment for oil production, and ensuring environmental protection. Owing to the comprehensive application of these investment directions for improving the systems of field development at a later stage, it is possible to stabilize and gradually increase production, the value of which is determined by the relevant design documents.

Keywords: late stage of development, high water cut, production from oil reserves, low-debit fund.

References

- Iartiev, A. F. (2006). *Ekonomicheskaiia otsenka proektnykh reshenii pri razrabotke nefnianykh mestorozhdenii dlia pozdnei stadii ekspluatatsii*. Moscow: VNIOENG, 159.
- Doroshenko, V. M., Titlov, O. S., Sahala, T. A., Bilenko, N. O. (2019). *Osnovy naukovykh doslidzhen*. Odessa, 156.
- Nafta i haz Prykarpattia. Narysy istorii* (2004). Krakiv-Kyiv: Naukova dumka, 570.
- Nafta i haz Ukrainy* (1997). Kyiv: Naukova dumka, 375.
- Hryshchanenko, V. P., Zarubin, Yu. O., Prokopiv, V. Y., Boiko, V. S., Stohnii, O. V., Hunda, M. V. et. al. (2015). *Naukove ta tekhnolohichne zabezpechennia vdoskonalennia system rozrobky rodovyskhch nafty i hazu*. Kyiv: DP «Naftohaz Ukrainy» Natsionalnoi aktsioner-noi kompanii «Naftohaz Ukrainy», 488.
- Doroshenko, V., Titlov, O. (2021). Analysis of the directions for improving the development systems for oil fields at the later stage. *Technology audit and production reserves, 1 (1 (57))*, 34–38. doi: <http://doi.org/10.15587/2706-5448.2021.225466>
- Boiko, V. S., Kondrat, R. M., Yaremiichuk, R. S. (Eds.) (1996). *Dovidnyk z naftohazovoi spravy*. Kyiv: Lviv, 620.
- Zarubin, Iu. A., Boiko, V. S., Grishaganenko, V. P., Shvidkii, O. A. (2012). *Nauchnye osnovy sovershenstvovaniia sistem razrabotki mestorozhdenii nefli i gaza*. GEOPETROL. Zakopane, 33–36.
- Al-Obaidi Obaidi, S. H., Khalaf, F. H. (2019). Development Of Traditional Water Flooding To Increase Oil Recovery. *International journal of scientific & technology research, 8 (1)*, 177–181. doi: <http://doi.org/10.31224/osf.io/cd537>
- Pominov, V. (1983). Conventional techniques for increasing the recovery of oil and gas from underground deposits: the stale and prospects. *Improved Techniques for the Extraction of Primary Forms of Energy*. London, 66–76. doi: http://doi.org/10.1007/978-94-009-6649-9_5



MECHANICAL ENGINEERING TECHNOLOGY

DOI: 10.15587/2706-5448.2021.229180

ВПЛИВ КОНСТРУКТИВНИХ І ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ КІНЦЕВИХ ФРЕЗ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ МІКРОПРОФІЛЮ ПОВЕРХОНЬ ВИЛИВКА сторінки 6–10

Кусий Я. М., Кук А. М., Топільницький В. Г., Ребот Д. П., Бойко М. В.

Об'єктом дослідження є технологічний маршрут механічного оброблення вилівка із алюмінієвого сплаву.

Проведені дослідження базуються на основних принципах функціонально-орієнтованого проектування технологічних процесів при виготовленні виробів. Основна гіпотеза дослідження полягає в необхідності системного підходу для дослідження впливу режимів різання визначеного методу механічної обробки на забезпечення параметрів якості в технологічній системі (верстат – пристрій – інструмент – заготовка). У традиційних автоматизованих системах технологічної підготовки виробництва реалізується об'єктно-орієнтований принцип проектування технологічних процесів, який передбачає покрокове виконання взаємопов'язаних етапів на основі алгоритму прототипування без функціонального аналізу експлуатаційних характеристик виробу. Оброблення функціональних, спряжених поверхонь, що забезпечують виконання виробом його службового призначення, необхідно реалізовувати згідно принципу функціонально-орієнтованого проектування (ФОР). Характерною особливістю ФОР є технологічне забезпечення найефективніших експлуатаційних характеристик виробу із дотриманням призначених конструктором параметрів точності та якості поверхневого шару виробу. У роботі розглянуто питання впливу конструктивних і геометричних параметрів кінцевих фрез фірми «Sandvick» (Сандвікен, Швеція) на формування параметрів мікрорельєфу профіля вилівка із алюмінієвого сплаву при механічному обробленні на вертикально-фрезерному центрі з числовим програмним керуванням (ЧПК) НААС MINIMILL (США). Застосовано нетиповий варіант для принципу ФОР технологічного маршруту механічного оброблення поверхонь заготовок машинобудівних виробів. Його особливістю є ігнорування вимог виробника металорізального інструменту, який є важливим елементом технологічної системи (верстат – інструмент – пристрій – заготовка), стосовно його застосування для конкретного верстата на визначеному технологічному переході механічного оброблення. Критеріями ефективності були висотні та крокові характеристики мікрорельєфу профіля поверхневого шару оброблюваного матеріалу заготовки. Визначені умови експлуатації машинобудівних виробів дозволяють встановити при відхиленні від рекомендацій виробника на етапі технологічної підготовки виробництва найраціональніші елементи певної технологічної системи: металорізальний верстат – пристрій – металорізальний інструмент – заготовка та режими оброблення для забезпечення необхідних експлуатаційних характеристик.

Ключові слова: механічна обробка поверхонь, параметри якості поверхні, мікропрофіль поверхні, функціонально-орієнтоване проектування, технологічний маршрут.

METALLURGICAL TECHNOLOGY

DOI: 10.15587/2706-5448.2021.229163

КОМПЛЕКСНИЙ ВПЛИВ СІРКИ ТА ФОСФОРУ НА ВЛАСТИВОСТІ КОЛІСНОЇ СТАЛІ МАРКИ КП-Т ДО ТА ПІСЛЯ МОДИФІКУВАННЯ сторінки 11–14

Полішко С. О.

Об'єктом дослідження є колісна сталь КП-2, модифікована системою Al-Mg-Si-Fe-C-Ca-Ti-Ce. Одним з найбільш проблемних місць при виплавці сучасних сталей є стабільність хімічного складу через використання неконтрольованих за змістом ломів, шихти та стандартних модифікаторів, які виготовляються плавним способом.

Для усунення цієї проблеми в ході дослідження використовувалися багатофункціональні модифікатори. Це пов'язано з тим, що запропонований в даній роботі метод модифікування сталі КП-2 має ряд особливостей. В даному випадку встановлено вплив модифікаторів багатофункціональної дії на установці вакуумної обробки сталі на десульфуріацію колісної сталі марки КП-2, отриманої в умовах відкритого акціонерного товариства «Інтерпайп НТЗ» (м. Дніпро, Україна). Зокрема, при обробці сталевого розплаву багатофункціональними модифікаторами відбувається не тільки рафінуюча дія, але також підвищення стабільності хімічного складу та рівня механічних характеристик колісної сталі марки КП-2. Це підтверджено представленими в дослідженні коефіцієнтами варіації та межплавочної різниці (розмахом), отриманими методами статистичної обробки великого масиву даних – 442 серійних плавок і 1 модифікованої (6 коліс).

Завдяки багатофункціональній модифікації дійсно підвищується рівень механічних характеристик і якості готових коліс. У порівнянні з подібними серійними матеріалами, такими як FeSi, FeCa, FeMn, SiCa, застосування нових модифікаторів багатофункціональної дії в колісній сталі КП-2 забезпечує значне зниження масової частки сірки, ніж в тому ж металі, який обробляють традиційним способом.

Встановлено, що при застосуванні багатофункціональних модифікаторів змінюється форма неметалевих включень на глобулярну та знижується їх кількість, що також підвищує рівень механічних властивостей колісної сталі КП-2. Отримані коефіцієнти варіації доводять, що механічні характеристики модифікованої сталі КП-2 стабільніші, ніж в серійних плавках тієї ж сталі. Це підвищить попит і якість на ці залізничні колеса.

Ключові слова: багатофункціональні модифікатори, хімічний склад сталі, механічні властивості сталі, неметалеві включення.

MATERIALS SCIENCE

DOI: 10.15587/2706-5448.2021.229172

ВПЛИВ ТИСКУ ПРЕСУВАННЯ НА МОРОЗОСТІЙКІСТЬ КЕРАМІКИ сторінки 15–20

Суббота І. С., Спасьонова Л. М., Шолом А. Є.

Об'єктом дослідження є легкоплавка глина Київської області (Україна). Робота присвячена дослідженню отримання керамічних матеріалів, стійких до низьких температур. Морозостійкість є однією з найважливіших характеристик для регіонів, в яких керамічні матеріали використовуються при частих переходах температур через 0 °С. Виробництво морозостійких стінових керамічних матеріалів обумовлено видом сировини та технологічними параметрами виробництва. Основними технологічними прийомами підвищення морозостійкості є: використання менш дисперсних глин; гомогенізація шихти; формування сирцю без текстурних дефектів і попередження тріщин під час сушіння та випалу.

В роботі показано, що існуючі способи підвищення морозостійкості можуть реалізуватися шляхом зменшення водопоглинання внаслідок створення мікропористої структури з переважно закритими порами підвищеним тиском напівсухого способу формування. Підвищення тиску пресування призводить до збільшення числа контактів молекул керамічної маси на стадії формування. Завдяки цьому міцність відформованих зразків при тиску пресування понад 30 МПа більша у порівнянні зі зразками, відформованими пластичним способом. Також встановлено, що підвищення тиску пресування дозволяє прискорити процес сушіння керамічних виробів, знижуючи енерговитрати на їх виробництво. Завдяки підвищенню тиску пресування до 50 МПа міцність зразків, отриманих напівсухим пресуванням, становить 55,4 МПа, при тому, що для зразків при пластичному формуванні – 22,9 МПа. Водопоглинання, навпаки, для сухого пресування становить 9,3 %, в той час як для пластичного – 12,2 % при температурі випалу 1000 °С.

Показано, що збільшення тиску пресування є ефективним способом підвищення якості керамічних матеріалів на основі місцевої малопластичної глинистої сировини. Економія природних та енергоресурсів, освоєння нових джерел сировини та комплексне вдосконалення продукції при екологічності виробництва залишаються важливими і сьогодні.

Ключові слова: керамічні матеріали, глиниста сировина, морозостійкість керамічних матеріалів, водопоглинання керамічних виробів.

DOI: 10.15587/2706-5448.2021.228943

ВПЛИВ НАГРІВУ ДО ВИСОКИХ ТЕМПЕРАТУР НА МЕХАНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТУГОПЛАВКИХ МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ БОРИДІВ сторінки 21–25

Локаткіна А. С., Пріхна Т. О., Мошль В. Є., Барвіцький П. П., Боримський О. І., Девін Л. М., Пономарьов С. С., Haber R., Талако Т. Л., Бондар А. А.

Об'єктом дослідження є HfB_2 , ZrB_2 та керамічний склад HfB_2 -30 % SiC та ZrB_2 -20 % SiC, ZrB_2 -20 % SiC-4 % Si_3N_4 , отримані під високим тиском, їх механічні характеристики до та після нагріву до високих температур та температур початку плавлення. Дослідження направлене на створення нових ефективних тугоплавких матеріалів для використання в аерокосмічній промисловості. Тому також були досліджені температури плавлення спечених матеріалів і вплив нагріву на їх механічні характеристики. Додатки (ZrB_2 -20 % SiC та HfB_2 -30 % SiC) хоча і приводили до зменшення питомої густини, але збільшували твердість (на 17 % і 46 % у випадку ZrB_2 та HfB_2 , відповідно) та тріщиностійкість (на 40 % і 21 % у випадку ZrB_2 та HfB_2 , відповідно). Однак вони істотно знижували температуру початку плавлення у вакуумі до 2150–2160 °С. Матеріали, спечені тільки з ZrB_2 та HfB_2 , не вдалося розплавити і при нагріві до 2970 °С. Після нагріву до початку температури плавлення 2150–2160 °С (у випадку матеріалів з добавками) і до температур 2970 °С (у випадку матеріалів, спечених з ZrB_2 або HfB_2) твердість і тріщиностійкість зменшувались. Так, твердість матеріалу з ZrB_2 зменшувалась на 19 %, тріщиностійкість – на 18 %, а виготовленого з ZrB_2 -20 % SiC, – на 46 % і 32 %, відповідно. Твердість матеріалу з HfB_2 зменшувалась на 46 %, тріщиностійкість – на 55 %, а виготовленого з HfB_2 -30 % SiC після нагріву зменшувалась на 40 %, однак тріщиностійкість зростала на 15 %. Спечений HfB_2 (з густиною 10,42 г/см³) до нагріву демонстрував твердість $H_V(9,8 \text{ Н}) = 21,27 \pm 0,84$ ГПа, $H_V(49 \text{ Н}) = 19,29 \pm 1,34$ і $H_V(98 \text{ Н}) = 19,17 \pm 0,5$, і тріщиностійкість $K_{1C}(9,8 \text{ Н}) = 6,47$ МН·м^{0,5}, а ZrB_2 густиною 6,2 г/см³ характеризувався $H_V(9,8 \text{ Н}) = 17,66 \pm 0,60$ ГПа, $H_V(49 \text{ Н}) = 15,25 \pm 1,22$ ГПа і $H_V(98 \text{ Н}) = 15,32 \pm 0,36$ ГПа, $K_{1C}(9,8 \text{ Н}) = 4,3$ МН·м^{0,5}. Матеріал, спечений з HfB_2 -30 % SiC (густиною 6,21 г/см³), мав $H_V(9,8 \text{ Н}) = 38,1 \pm 1,4$ ГПа, $H_V(49 \text{ Н}) = 27,7 \pm 2,8$ ГПа, а $K_{1C}(9,8 \text{ Н}) = 8,1$ МН·м^{0,5}, $K_{1C}(49 \text{ Н}) = 6,8$ МН·м^{0,5}. Спечений з ZrB_2 -20 % SiC матеріал мав густиною 5,04 г/см³, $H_V(9,8 \text{ Н}) = 24,2 \pm 1,9$ ГПа, $H_V(49 \text{ Н}) = 16,7 \pm 2,8$ ГПа, $K_{1C}(49 \text{ Н}) = 7,1$ МН·м^{0,5}. Додавання SiC до вихідної суміші значно знижує еластичність матеріалів.

Ключові слова: диборид цирконію, диборид гафнію, карбід кремнію, нітрид кремнію, ультрависокотемпературна кераміка, тугоплавкі бориди.

DOI: 10.15587/2706-5448.2021.229673

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ УТИЛІЗАЦІЇ ВІДПРАЦЬОВАНИХ АВІАЦІЙНИХ МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ сторінки 26–32

Бойченко С. В., Яковлева А. В., Kale U., Nagy A.

Об'єктом дослідження є технології переробки та утилізації відпрацьованих авіаційних масел і змащувальних матеріалів. Робота присвячена аналізу сучасного стану та оцінці технологічного потенціалу в області переробки та утилізації авіаційних мастильних матеріалів. Розглянуто сучасний стан і динаміку ринку виробництва та споживання авіаційних мастильних матеріалів. Проаналізовано основні властивості та функції авіаційних мастил, сформульовані основні технічні вимоги до них. Розглянуто комплекс фізико-

хімічних процесів, які протікають в мастильних матеріалах під час їх експлуатації та тривалого зберігання, і призводять до втрати їх якості. Показано, що основними чинниками погіршення якості є високотемпературна деструкція, окислення, полімеризація та конденсація вуглеводнів, змішування з паливом, забруднення неорганічними сполуками. Розглянуто основні екологічні, а також економічні проблеми, пов'язані з акумуляцією відпрацьованих мастильних матеріалів, описано їх негативний вплив на компоненти навколишнього середовища та здоров'я людини. Так, основні негативні ефекти пов'язані з їх неправильним зберіганням, зливом в водні об'єкти або ґрунт, а також з їх спалюванням і формуванням токсичних викидів. На основі цього показано необхідність розробки та впровадження комплексних технологій утилізації відпрацьованих мастильних матеріалів. Представлено основні напрями, методи та технології, які застосовуються для їх утилізації. Так, в залежності від складу, якості та властивостей відпрацьованих мастильних матеріалів можуть застосовуватися технології відновлення їх якості, технології переробки з їх використанням в якості сировини для виробництва аналогічних нафтопродуктів, технології отримання низькоякісних палив для стаціонарної техніки на їх основі. Показано, що розробка та застосування ефективних технологій утилізації відпрацьованих мастильних матеріалів має ряд позитивних ефектів: мінімізація негативного впливу на навколишнє середовище, економія та розширення сировинних ресурсів для виробництва товарних нафтопродуктів і, як результат, економія коштів.

Ключові слова: авіаційні мастильні матеріали, зміна якості, відпрацьовані мастильні матеріали, суміш відпрацьованих нафтопродуктів, відновлення якості.

ELECTRICAL ENGINEERING AND INDUSTRIAL ELECTRONICS

DOI: 10.15587/2706-5448.2021.228659

АЛЬТЕРНАТИВНА ОЦІНКА НАПРУГИ НА ВЕРШИНІ ОПОРІ ЛІНІЇ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАВАННЯ, УРАЖЕНОЇ БЛИСКАВКОЮ сторінки 33–39

Троценко Є. О., Діхт М. М., Бржезицький В. О., Гарах Я. О.

Об'єктом дослідження є схема, яка моделює удар блискавки в опору лінії електропередачі класу 220 кВ з урахуванням відбиття хвилі струму від 10 найближчих опор. Розрахунок потенціалу, що виникає на вершині ураженої опори, необхідний в подальшому для визначення блискавкозахисту лінії різними методами. В середньому для умов Індії кількість розрядів блискавки в дану лінію електропередачі на 100 кілометрів в рік становить близько 77, що є досить високим показником. Як правило, в задачах блискавкозахисту струм блискавки описують деяким аналітичним виразом. У більшості випадків такі вирази є різними комбінаціями експоненційних функцій. Однак форма струмів реальних блискавок на осцилограмах істотно відрізняється від тієї форми, яку їм приписують і апроксимують відносно простими експонентними виразами. Для більш детального дослідження перехідних процесів, обумовлених грозовою діяльністю, існує необхідність при моделюванні використовувати осцилограми реальних струмів блискавки.

Завдання визначення напруги на вершині ураженої опори лінії електропередавання було вирішено за допомогою схематехнічного моделювання. Для моделювання струму блискавки були використані оцифровані осцилограми реальних струмів блискавок з піковими значеннями $-5,256$ кА і $-133,586$ кА.

У даній роботі показано, що запропонований підхід дає більш точне і наочне уявлення про перехідний процес на вершині ураженої опори, ніж апроксимація струму блискавки простими експоненційними виразами. Використання спрощеного експоненціального опису струму блискавки призводить не тільки до спрощення характеру перехідного процесу на вершині опори, але й до заниження результатів до 8,8%. Вибір схеми заміщення опор лінії електропередачі також впливає на результат. Представлення опор на еквівалентній схемі зосередженими індуктивностями призводить до дещо більших значень у порівнянні з використанням у схемі хвильових опорів. При цьому, чим менше амплітуда струму, тим більша різниця (8,6% в області малих струмів і 1,9% в області великих струмів). Оскільки це призводить до деякого запасу в розрахунках блискавкозахисту, можна рекомендувати схему заміщення опори лінії електропередачі за допомогою зосереджених індуктивностей.

Проведене дослідження робить внесок в розвиток методів розрахунку блискавкозахисту ліній електропередач і розширення області застосування програм схематехнічного моделювання.

Ключові слова: удар блискавки, блискавкозахист, лінія електропередавання, відбиття хвиль, осцилограми реальних струмів блискавки.

DOI: 10.15587/2706-5448.2021.229217

ВИЗНАЧЕННЯ ІНДУКТИВНОСТЕЙ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА ПУЛЬСУЮЧОГО СТРУМУ сторінки 40–43

Гулак С. О., Ткаченко В. П., Салпронова С. Ю., Співак О. М., Рябов Є. С., Островерх О. О.

Об'єктом дослідження є тяговий електродвигун пульсуючого струму. Для підвищення точності його математичної моделі необхідно використовувати значення параметрів, які визначені при експериментальних дослідженнях електродвигуна. Зокрема, важливим є використання в моделі електродвигуна індуктивностей, отриманих експериментальним шляхом. Запропоновано методику розрахунку індуктивності обмотки якоря, головних полюсів, додаткових полюсів і компенсаційної обмотки та повної індуктивності кола якоря тягового електродвигуна. Розрахунки базуються на результатах непрямого методу вимірювання індуктивностей, при якому безпосередньо вимірюються електричні величини різних режимів живлення обмоток електродвигуна, а індуктивності визначаються шляхом допоміжних розрахунків. Індуктивності кола якоря тягового двигуна мають нелінійну залежність від струму,

що протікає через них. Основна відмінність дослідження полягає у тому, що вимірювання електричних параметрів, необхідних для розрахунку індуктивностей, здійснюється у всьому діапазоні робочих струмів обмоток. Суть запропонованої методики полягає у вимірюванні активної потужності в обмотці якоря, обмотці головних та додаткових полюсів, та компенсаційній обмотці, а також у колі якоря в цілому при їх живленні змінним струмом. За отриманими значеннями втрат активної потужності та зсуву фаз визначаються відповідні втрати реактивної потужності, за допомогою яких розраховуються індуктивності обмоток електродвигуна. Апробацію методики розрахунку індуктивностей проведено для електродвигуна пульсуючого струму НБ-418К6 (країна виробник Росія), що використовується на електровозах серій ВЛ80Т та ВЛ80К (країна виробник Росія). Запропоновано схему вимірювання електричних параметрів, необхідних для розрахунку індуктивностей. Графічні залежності індуктивності від струму якоря, побудовані на основі розрахунків, підтвердили гіпотезу про нелінійну залежність цих індуктивностей від струму якоря. Для подальшого застосування отриманих результатів в імітаційному моделюванні роботи тягового електродвигуна НБ-418К6 виконано поліноміальну апроксимацію повної індуктивності кола якоря.

Ключові слова: тяговий двигун пульсуючого струму, струм якоря, повна індуктивність обмотки якоря.

TECHNOLOGY AND SYSTEM OF POWER SUPPLY

DOI: 10.15587/2706-5448.2021.229999

РОЗГЛЯД ПРИНЦИПІВ СТАБІЛІЗАЦІЇ ТА НАРОЩУВАННЯ ВИДОБУТКУ НАФТИ НА ПІЗНІЙ СТАДІЇ РОЗРОБКИ РОДОВИЩ (НА ПРИКЛАДІ РОДОВИЩ УКРАЇНИ) сторінки 44–47

Дорошенко В. М., Тітлов О. С.

Об'єктом дослідження є нафтовидобувна галузь. Одним з найбільш проблемних питань галузі є перехід родовищ в пізню або завершальну стадію їх розробки. Значну кількість родовищ України, США, Росії, Польщі, Азербайджану тощо розпочали розробляти ще в середині XIX століття. На сьогодні всі «старі» родовища переважно виснажилися як за величиною запасів вуглеводнів, так і за енергетичним потенціалом (пластовим тиском), а деякі перебувають в розробці і дотепер, але у так званій «пізній стадії». Водночас значна кількість відносно «молодих» родовищ перейшли також у пізню стадію розробки, яка характеризується, насамперед, суттєвим виробленням видобувних запасів нафти, прогресуючим зростанням обводненості продукції свердловин, збільшенням частки важковидобувних запасів. А також переходом на механізовані способи видобутку нафти та поступовим збільшенням фонду малодебітних свердловин, фізичним та моральним зношенням основних засобів видобутку нафти із загрозою їх масового вибуття з ладу, погіршенням екологічної рівноваги довкілля тощо. Тому дану роботу присвячено розгляду принципів стабілізації та нарощування видобутку нафти на пізній стадії розробки родовищ (на прикладі родовищ України). В процесі дослідження використано оригінальні методи класичного наукового дослідження, головними з яких є аналіз і синтез, індукція та дедукція. Прикладом того є запропонований розподіл структури видобувних запасів нафти на активні та важковидобувні. Дослідження побудовано на статистичній обробці значного масиву реальної інформації про стан і проблеми видобутку нафти, яка є типовою і характерною не тільки для родовищ України. Отримано широкий спектр напрямків для інвестиційної діяльності в сфері видобування нафти. Це, в основному, напрямки щодо нарощування ресурсної бази, активізації повноти її вироблення, організації контрольованого та керованого витискування нафти водою, у тому числі з застосуванням «реверсної» технології, уніфікації обладнання для видобування нафти, забезпечення охорони навколишнього середовища. Завдяки комплексному застосуванню зазначених інвестиційних напрямків удосконалення систем розробки родовищ на пізній стадії забезпечується можливість стабілізації та поступового нарощування видобутку, величина якого визначається відповідними проектними документами.

Ключові слова: пізня стадія розробки, висока обводненість, вироблення видобувних запасів нафти, низькодебітний фонд.