

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.304719

REVEALING PATTERNS OF CHANGE IN THE TRIBOLOGICAL EFFICIENCY OF COMPOSITE MATERIALS FOR MACHINE PARTS BASED ON PHENYLONE AND POLYAMIDE REINFORCED WITH ARIMIDE-T AND FULLERENE (p. 6–18)

Viktor Aulin

Central Ukrainian National Technical University,
Kropyvnytskyi, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2737-120X>

Ivan Rogovskii

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,
Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6957-1616>

Oleh Lyashuk

Ternopil Ivan Puluj National Technical University,
Ternopil, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4881-8568>

Andrii Tykhyi

Central Ukrainian National Technical University,
Kropyvnytskyi, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5323-4415>

Alexander Kuzyk

Central Ukrainian National Technical University,
Kropyvnytskyi, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3047-3760>

Andrii Dvornyk

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,
Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8242-4250>

Oleksiy Derkach

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,
Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6881-3521>

Serhii Lysenko

Central Ukrainian National Technical University,
Kropyvnytskyi, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0845-7817>

Oleksandr Banniy

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,
Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0505-166X>

Andrii Hrynkiv

Dnipro State Agrarian and Economic University, Dnipro, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4478-1940>

The object of the study is the process of changing tribological efficiency according to tribotechnical characteristics (wear intensity, friction coefficient, temperature in the contact zone) of composites based on phenylone C-1 and polyamide PA-6 with arimide-T filler and fullerene C-60. The study solved the problem of obtaining composites with high wear resistance.

Based on the results of research, it was found that varying the content of arimide-T makes it possible to obtain composites with different patterns of changes in tribotechnical characteristics under conditions of dry friction, lubrication with water and I-50 oil. Com-

posites with the composition: phenylone C-1+15 wt. have the maximum tribological efficiency. % arimide-T+3 wt. % fullerene C-60 and polyamide PA-6+30 wt. % arimide-T+3 wt. % fullerene C-60.

Phenylone C-1 has destructive properties when working in the environment of water and temperature in the friction zone. Its reinforcement with arimide-T and fullerene C60 gave positive results of a complex of tribotechnical characteristics under these conditions. It was found that the wear of composites based on phenylone C-1 in I-50 oil is two orders of magnitude lower than in water. Research of samples from the obtained composites based on phenylone C-1 and polyamide PA-6, reinforced with the optimal content of arimide-T and fullerene C60, showed that their wear resistance when lubricated with oil is 3.5...4.0 times greater than the wear resistance of bronze.

An applied aspect of the reported results is the introduction of manufacturing technologies and restoration of machine parts from the proposed composites. It has been proven that their optimal composition contributes to high tribological efficiency and could provide the required level of wear resistance and reliability of resource-determining nodes, systems, and machine assemblies.

The results could be used by machine-building and repair-technological enterprises.

Keywords: phenylone, polyamide, arimide, composite, wear, intensity of wear, coefficient of friction, temperature.

References

- Shelarea, S., Aglawea, K., Giria, S., Waghmare, S. (2023). Additive Manufacturing of Polymer Composites: Applications, Challenges and Opportunities. *Indian Journal of Engineering and Materials Sciences*, 30 (06). <https://doi.org/10.56042/ijems.v30i6.4490>
- Neis, P. D., Ferreira, N. F., Poletto, J. C., Sukumaran, J., Andó, M., Zhang, Y. (2017). Tribological behavior of polyamide-6 plastics and their potential use in industrial applications. *Wear*, 376-377, 1391–1398. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2017.01.090>
- Kabat, O., Makarenko, D., Derkach, O., Muranov, Y. (2021). Determining the influence of the filler on the properties of structural thermal-resistant polymeric materials based on Phenylone C1. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (6 (113)), 24–29. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.243100>
- Yeriomina, Y., Burya, A., Rybak, T. (2019). Investigating the influence of fine-dispersed aluminum, nickel and titanium on the properties of phenylone. *Scientific Journal of the Ternopil National Technical University*, 94 (2), 58–63. https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2019.02.058
- Zhang, Y., Wang, M., Zhang, D., Wang, Y., Wang, L., Qiu, Y. et al. (2023). Crystallization and Performance of Polyamide Blends Comprising Polyamide 4, Polyamide 6, and Their Copolymers. *Polymers*, 15 (16), 3399. <https://doi.org/10.3390/polym15163399>
- Srinath, G., Gnanamoorthy, R. (2007). Sliding wear performance of polyamide 6–clay nanocomposites in water. *Composites Science and Technology*, 67 (3-4), 399–405. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2006.09.004>
- Kabat, O., Sytar, V., Derkach, O., Sukhyi, K. (2021). Polymeric Composite Materials of Tribotechnical Purpose with a High Level of Physical, Mechanical and Thermal Properties. *Chemistry & Chemical Technology*, 15 (4), 543–550. <https://doi.org/10.23939/chcht15.04.543>
- Tomina, A.-M. V., Burya, O. I., Lytvynova, Ye. E., Gavrish, V. M. (2020). The research on the influence of titanium-tantalum-tung-

- sten-cobalt hard alloy on the tribological properties of phenylone C-2. *Problems of Tribology*, 25 (2), 42–48. <https://doi.org/10.31891/2079-1372-2020-96-2-42-48>
9. Liu, Y., Jiang, S., Yan, W., Qin, J., He, M., Qin, S., Yu, J. (2021). Enhanced mechanical and thermal properties of polyamide 6/p (N-(4-F-phenylmaleimide)–alt-styrene) composites based on interfacial complexation inducing crystal transformation. *Polymer*, 214, 123237. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2020.123237>
 10. Makannavar, R., Keshavamurthy, R., Biradar, M. (2019). Mechanical Properties of Graphite Filled ABS Parts Developed by Fused Deposition Modelling. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 577 (1), 012146. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/577/1/012146>
 11. Dudin, V., Makarenko, D., Derkach, O., Muranov, Y. (2022). Determining the influence of a filler on the properties of composite materials based on Phenylone C2 for tribojunctions in machines and assemblies. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (12 (119)), 38–46. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.266160>
 12. Dudin, V., Makarenko, D., Derkach, O., Muranov, Y. (2021). Determination of the influence of a filler on the properties of composite materials based on polytetrafluoroethylene for tribosystems of mechanisms and machines. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (12 (112)), 61–70. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.238452>
 13. Koroku, M., Feyzullaho lu, E. (2024). Wear behaviour of glass fiber reinforced polyester composites under dry friction and fluid film lubrication. *Materials Testing*, 66 (5), 749–759. <https://doi.org/10.1515/mt-2023-0420>
 14. Burya, A., Yeriomina, Y., Naberezhnaya, O., Arlamova, N. (2018). Thermal Resistance of Graphite Plastics Based on Aromatic Polyamide. *American Journal of Analytical Chemistry*, 09 (07), 331–339. <https://doi.org/10.4236/ajac.2018.97026>
 15. Kabat, O. S., Derkach, O. D., Pavlushkina, N. V., Pikula, I. I. (2019). Polymeric composites of tribotechnical purpose based on fluoropolymers. *Problems of Tribology*, 92 (2), 75–81. <https://doi.org/10.31891/2079-1372-2019-92-2-75-81>
 16. Aulin, V. V., Derkach, O. D., Makarenko, D. O., Hrynkiv, A. V., Krutous, D. I. (2020). Application of polymer composites in the design of agricultural machines for tillage. *Problems of Tribology*, 25 (2), 49–58. <https://doi.org/10.31891/2079-1372-2020-96-2-49-58>
 17. Jiang, S., Cheng, L., Yuan, H., Li, X. (2024). Highlight Removal Emphasizing Detail Restoration. *Applied Sciences*, 14 (6), 2469. <https://doi.org/10.3390/app14062469>
 18. Żywica, G., Bagiński, P., Roemer, J., Zdziebko, P., Martowicz, A., Kaczmarczyk, T. Z. (2022). Experimental Characterization of a Foil Journal Bearing Structure with an Anti-Friction Polymer Coating. *Coatings*, 12 (9), 1252. <https://doi.org/10.3390/coatings12091252>
 19. Kobets, A., Aulin, V., Derkach, O., Makarenko, D., Hrynkiv, A., Krutous, D., Muranov, E. (2020). Design of mated parts using polymeric materials with enhanced tribotechnical characteristics. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (12 (107)), 49–57. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.214547>
 20. Lyashuk, O., Sokil, B., Hevko, R., Aulin, V., Serilko, L., Vovk, Y. et al. (2021). The dynamics of the working body of the tubular conveyor with the chain drive. *Journal of Applied and Computational Mechanics*, 7 (3), 1710–1718. <https://doi.org/10.22055/JACM.2021.35725.2719>
 21. Nazarenko, I., Mishchuk, Y., Mishchuk, D., Ruchynskiy, M., Rogovskii, I., Mikhailova, L. et al. (2021). Determination of energy characteristics of material destruction in the crushing chamber of the vibration crusher. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (7 (112)), 41–49. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.239292>
 22. Kušter, M., Samardžija, Z., Komelj, M., Huskić, M., Bek, M., Pierson, G. et al. (2024). Effect of Al-Cu-Fe Quasicrystal Particles on the Reinforcement of a Polymer–Matrix Composite: From Surface to Mechanical Properties. *Crystals*, 14 (3), 216. <https://doi.org/10.3390/cryst14030216>
 23. Nuruzzaman, D. M., Chowdhury, M. A., Rahman, Md. M., Kowser, Md. A., Roy, B. K. (2015). Experimental Investigation on Friction Coefficient of Composite Materials Sliding Against SS 201 and SS 301 Counterfaces. *Procedia Engineering*, 105, 858–864. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.05.106>
 24. Jean-Fulcrand, A., Masen, M. A., Bremner, T., Wong, J. S. S. (2017). High temperature tribological properties of polybenzimidazole (PBI). *Polymer*, 128, 159–168. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2017.09.026>
 25. Suffo, M., Pérez-Muñoz, C., Alba, G., Villar, M. P. (2024). An Innovative Polypropylene/Waste Cork Composite Material for Spirit and Wine Stopper Caps. *Applied Sciences*, 14 (7), 3014. <https://doi.org/10.3390/app14073014>
 26. Røn, T., Lee, S. (2014). Influence of Temperature on the Frictional Properties of Water-Lubricated Surfaces. *Lubricants*, 2 (4), 177–192. <https://doi.org/10.3390/lubricants2040177>
 27. Musthaq, M. Ahmed., Dhakal, H. N., Zhang, Z., Barouni, A., Zahari, R. (2023). The Effect of Various Environmental Conditions on the Impact Damage Behaviour of Natural-Fibre-Reinforced Composites (NFRCS)—A Critical Review. *Polymers*, 15 (5), 1229. <https://doi.org/10.3390/polym15051229>
 28. Roszak, M. R., Kurzawa, A., Roik, T., Gavrysh, O., Vitsiuk, I., Barsan, N. et al. (2023). Friction films analysis and tribological properties of composite antifriction self-lubricating material based on nickel alloy. *Materials Science-Poland*, 41 (3), 1–17. <https://doi.org/10.2478/msp-2023-0031>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.305739

DESIGNING TRIBOTECHNICAL EPOXY COMPOSITE MATERIALS REINFORCED WITH CHOPPED FIBERS AND MODIFIED WITH SILICON ORGANIC VARNISH (p. 19–27)

Vitalii Kashytskyi

Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2346-912X>

Oksana Sadova

Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6152-5447>

Valentyna Tkachuk

Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5793-5227>

Oleg Shehynskiy

Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2152-528X>

Inna Parfentyeva

Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6116-4509>

The object of research is modified epoxy composite materials containing fibrous fillers treated in physical fields. The technological features of the development of tribotechnical epoxy composites, which must withstand the effects of elevated temperatures, have been considered. In this case, it is necessary to modify the structure of the epoxy polymer matrix, which is achieved as a result of the introduction of heat-resistant organosilicon varnish. Organosilicon varnishes and chopped fibers contain technological additives, which

complicates the process of structuring epoxy composites and leads to the appearance of structural defects. Removal of technological additives and cleaning the surface of the aramid and glass fibers from lubricants is possible as a result of processing the components of the composition in physical fields. There is a need to study the influence of physical fields on the structuring processes of the epoxy system and the formation of the structure of epoxy composites with specified properties. Modified epoxy composites contain chopped aramid and glass fibers treated with ultrasound. The tribotechnical characteristics of epoxy composites were studied at a sliding speed of $V=1.0$ m/s with a change in specific load from 0.5 MPa to 1.5 MPa. The temperature in the tribocontact zone during frictional interaction rises to 100 °C with an increase in the specific load. An increase in the density of the surface layer of tribocontact of epoxy composites with fillers treated in physical fields was revealed. The practical recommendations have been compiled for the implementation of the treatment technology of components in physical fields, which ensures structuring of epoxy composites with high tribotechnical characteristics.

Keywords: glass fibers, aramid fibers, electromagnetic field, ultrasound treatment, wear intensity.

References

1. Stawarz, S., Stawarz, M., Kucharczyk, W., Żurowski, W., Różycka, A. (2019). New Polymer Composites Including a Phenol-Formaldehyde Resin Binder Designed for Self-Lubricating Sliding Pair Elements. *Advances in Science and Technology Research Journal*, 13 (4), 223–229. <https://doi.org/10.12913/22998624/113089>
2. Burmistr, M. V., Boiko, V. S., Lipko, E. O., Gerasimenko, K. O., Gomza, Yu. P., Vesnin, R. L. et al. (2014). Antifriction and Construction Materials Based on Modified Phenol-Formaldehyde Resins Reinforced with Mineral and Synthetic Fibrous Fillers. *Mechanics of Composite Materials*, 50 (2), 213–222. <https://doi.org/10.1007/s11029-014-9408-0>
3. Basavaraj Pattanashetty, B., Bheemappa, S., Rajashekaraiiah, H. (2017). Effect of Filler-Filler Interactions on Mechanical Properties of Phenol Formaldehyde Based Hybrid Composites. *International Journal of Engineering and Technologies*, 13, 24–38. <https://doi.org/10.18052/www.scipress.com/ijet.13.24>
4. Binda, F. F., Oliveira, V. de A., Fortulan, C. A., Palhares, L. B., dos Santos, C. G. (2020). Friction elements based on phenolic resin and slate powder. *Journal of Materials Research and Technology*, 9 (3), 3378–3383. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.01.032>
5. Vinayagamoorthy, R. (2018). Friction and wear characteristics of fibre-reinforced plastic composites. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 33 (6), 828–850. <https://doi.org/10.1177/0892705718815529>
6. Kashytskiy, V., Sadova, O., Liushuk, O., Davydiuk, O., Myskovets, S. (2017). Examining a mechanism of generating the fragments of protective film in the tribological system “epoxycomposite–steel”. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (11 (86)), 10–16. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.97418>
7. Berladir, K., Zhyhylii, D., Gaponova, O., Krmela, J., Krmelová, V., Artyukhov, A. (2022). Modeling of Polymer Composite Materials Chaotically Reinforced with Spherical and Cylindrical Inclusions. *Polymers*, 14 (10), 2087. <https://doi.org/10.3390/polym14102087>
8. Panda, A., Dyadyura, K., Savchuk, P., Kashytskiy, V., Malets, V., Valicek, J. et al. (2019). The results of theoretical and experimental studies of tribotechnical purposes composites on the basis of epoxy composite material. *MM Science Journal*, 2019 (05), 3509–3518. https://doi.org/10.17973/mmsj.2019_12_2019032
9. Stukhliak, P., Golotenko, O., Skorokhod, A. (2015). Influence of microwave electromagnetic treatment on properties of epoxy composites. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (5 (73)), 32–37. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.36978>
10. Li, Z., Liu, J., Yuan, Y., Li, E., Wang, F. (2017). Effects of surface fluoride-functionalizing of glass fiber on the properties of PTFE/glass fiber microwave composites. *RSC Advances*, 7 (37), 22810–22817. <https://doi.org/10.1039/c7ra02715j>
11. Coleman, J. N., Khan, U., Blau, W. J., Gun'ko, Y. K. (2006). Small but strong: A review of the mechanical properties of carbon nanotube–polymer composites. *Carbon*, 44 (9), 1624–1652. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2006.02.038>
12. Riabchykov, M., Tsykhanovska, I., Alexandrov, A. (2023). Justification of technologies for the synthesis of mineral nanoparticles for the creation of magnetic smart textile. *Journal of Materials Science*, 58 (16), 7244–7256. <https://doi.org/10.1007/s10853-023-08463-x>
13. Sabry, I., Mourad, A.-H. I., Subhan, A., Idrisi, A. H. (2022). Wear resistance of glass and carbon fibers/epoxy composites. 2022 Advances in Science and Engineering Technology International Conferences (ASET). <https://doi.org/10.1109/aset53988.2022.9734885>
14. Savchuk, P. P., Kostornov, A. G., Kashitskii, V. P., Sadova, O. L. (2014). Friction Wear of Modified Epoxy Composites. *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*, 53 (3-4), 205–209. <https://doi.org/10.1007/s11106-014-9605-3>
15. Wang, H., Sun, A., Qi, X., Dong, Y., Fan, B. (2021). Experimental and Analytical Investigations on Tribological Properties of PTFE/AP Composites. *Polymers*, 13 (24), 4295. <https://doi.org/10.3390/polym13244295>
16. Kashytskiy, V., Sadova, O., Melnychuk, M., Savchuk, P., Liushuk, O. (2022). Influence of Additives Processed by Physical Fields on Tribotechnical Properties of Polymer Composites. *Advances in Design, Simulation and Manufacturing V*, 393–403. https://doi.org/10.1007/978-3-031-06025-0_39
17. Brailo, M., Buketov, A., Yakushchenko, S., Saponov, O., Vynar, V., Kobelnik, O. (2018). The Investigation of Tribological Properties of Epoxy-Polyether Composite Materials for Using in the Friction Units of Means of Sea Transport. *Materials Performance and Characterization*, 7 (1), 20170161. <https://doi.org/10.1520/mpc20170161>
18. Hu, X. J., Chen, Y. N., Bian, Q., Chen, M., Qin, W., Feng, J. (2014). Preparation and Properties of Organosilicon-Modified Epoxy Esters Resin. *Advanced Materials Research*, 960-961, 148–151. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.960-961.148>
19. Brailo, M. V., Yakushchenko, S. Y. (2021). Development of epoxy-polyester base modified with UV light for upgrading of technological equipment of vehicles. *Journal of Hydrocarbon Power Engineering*, 8 (1), 33–39. Available at: <http://elar.nung.edu.ua/handle/123456789/9217>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.304661

DETERMINING PATTERNS OF LEACHING TITANIUM(IV) FROM THE IRSHANSKY DEPOSIT ILMENITE (p. 28–35)

Snizhana Pysarenko

Zhytomyr Ivan Franko State University, Zhytomyr, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5978-487X>

Oleksandr Kaminskyi

Scientific Lyceum of the Zhytomyr Ivan Franko State University,

Zhytomyr, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1971-8437>

Roman Denysiuk

Zhytomyr Ivan Franko State University, Zhytomyr, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3077-3795>

Olena Yevdochenko

Zhytomyr Ivan Franko State University, Zhytomyr, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6338-5372>

Olena Chyhyrynets

National Technical University of Ukraine
 “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6191-7096>

Olena Anichkina

Zhytomyr Ivan Franko State University, Zhytomyr, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4843-0707>

Olga Avdicieva

Scientific Lyceum of the Zhytomyr Ivan Franko State University,
 Zhytomyr, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6550-0776>

Yuliia Lysetska

Scientific Lyceum of the Zhytomyr Ivan Franko State University,
 Zhytomyr, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6747-5858>

The research object is the ilmenite concentrate from the Irshansky deposit. This study describes an elemental composition of the mineral raw material and confirms its structure using the X-ray diffraction and scanning electron microscopy. Experimental studies have shown that the ilmenite concentrate from the Irshansky deposit has a significant titanium content in terms of titanium dioxide (79 %). Mineral raw materials with such a chemical composition are unique, so there is a need to find alternative methods for its processing. The research demonstrates that the maximum degree of extraction in the process of alkaline leaching of the ilmenite concentrate is achieved under the condition that the average diameter of particles of the mineral raw material should be $\leq 71 \mu\text{m}$. As a result of temperature studies, it has been found that a temperature of 453 K would suffice to obtain potassium titanate at atmospheric pressure. Further temperature increase does not provide for a significant increase in the degree of titanium extraction, and also contributes to the formation of polytitanates of various compositions. The study of the influence of the molar ratio of the starting reagents on the degree of extraction of titanium(IV) from the ilmenite concentrate has showed that the optimal molar ratio between the components corresponds to the stoichiometric one and is 1:2. Increasing the amount of potassium hydroxide in the reaction mixture is impractical as it reduces the yield of potassium titanate, and the final product will have high alkalinity due to excess alkali. The optimal time for alkaline leaching is three hours of continuous heating in a glycerin bath. A further increase in the duration of heating does not lead to an increase in the degree of extraction, which is associated with the diffusion of alkali from the surface of the nucleus into the volume of ilmenite particles due to the formed products of interaction and annihilation of the initial nuclei.

Keywords: ilmenite concentrate, alkaline leaching, potassium hydroxide, potassium titanate, degree of extraction.

References

- Dante, R. C. (2016). Abrasives, ceramic, and inorganic materials. Handbook of Friction Materials and Their Applications, 105–121. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100619-1.00008-0>
- Asano, K., Yoneda, H., Agari, Y., Matsumuro, M., Higashi, K. (2015). Thermal and Mechanical Properties of Aluminum Alloy Composite Reinforced with Potassium Hexatitanate Short Fiber. Materials Transactions, 56 (1), 160–166. <https://doi.org/10.2320/matertrans.m2014284>
- Luo, R., Ni, Y., Li, J., Yang, C., Wang, S. (2011). The mechanical and thermal insulating properties of resin-derived carbon foams reinforced by $\text{K}_2\text{Ti}_6\text{O}_{13}$ whiskers. Materials Science and Engineering: A, 528 (4-5), 2023–2027. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2010.10.106>
- Escobedo Bretado, M. A., González Lozano, M. A., Collins Martínez, V., López Ortiz, A., Meléndez Zaragoza, M., Lara, R. H., Moreno Medina, C. U. (2019). Synthesis, characterization and photocatalytic evaluation of potassium hexatitanate ($\text{K}_2\text{Ti}_6\text{O}_{13}$) fibers. International Journal of Hydrogen Energy, 44 (24), 12470–12476. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.06.085>
- Pysarenko, S., Kaminskyi, O., Chyhyrynets, O., Denysiuk, R., Chernenko, V. (2022). Photocatalytic destruction and adsorptive processes of methylene blue by potassium titanate. Materials Today: Proceedings, 62, 7754–7758. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.05.476>
- Salinas, D., Guerrero, S., Cross, A., Araya, P., Wolf, E. E. (2016). Potassium titanate for the production of biodiesel. Fuel, 166, 237–244. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2015.10.127>
- Huo, K., Zhao, J., Zhuang, J., Yao, Z., Hu, M., Wang, B. et al. (2024). Hydrothermal synthesis of lepidocrocite-like potassium lithium titanate $\text{K}_{0.80}\text{Li}_{0.267}\text{Ti}_{1.733}\text{O}_4$ (KLTO) with superior polarization performance. Chemical Engineering Journal, 482, 148783. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2024.148783>
- Mineral commodity summaries 2022 (2022). US Geological Survey. <https://doi.org/10.3133/mcs2022>
- Thambiliyagodage, C., Wijesekera, R., Bakker, M. G. (2021). Leaching of ilmenite to produce titanium based materials: a review. Discover Materials, 1 (1). <https://doi.org/10.1007/s43939-021-00020-0>
- Liu, Y., Qi, T., Chu, J., Tong, Q., Zhang, Y. (2006). Decomposition of ilmenite by concentrated KOH solution under atmospheric pressure. International Journal of Mineral Processing, 81 (2), 79–84. <https://doi.org/10.1016/j.minpro.2006.07.003>
- Liu, Y., Lü, H., Qi, T., Zhang, Y. (2012). Extraction behaviours of titanium and other impurities in the decomposition process of ilmenite by highly concentrated KOH solution. International Journal of Minerals, Metallurgy, and Materials, 19 (1), 9–14. <https://doi.org/10.1007/s12613-012-0508-3>
- Nayl, A. A., Awwad, N. S., Aly, H. F. (2009). Kinetics of acid leaching of ilmenite decomposed by KOH. Journal of Hazardous Materials, 168 (2-3), 793–799. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.02.076>
- Nayl, A. A., Aly, H. F. (2009). Acid leaching of ilmenite decomposed by KOH. Hydrometallurgy, 97 (1-2), 86–93. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2009.01.011>
- Kordzadeh-Kermani, V., Schaffie, M., Hashemipour Rafsanjani, H., Ranjbar, M. (2020). A modified process for leaching of ilmenite and production of TiO_2 nanoparticles. Hydrometallurgy, 198, 105507. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2020.105507>
- Yousef, L. A. (2017). Uranium Adsorption Using Iron-Titanium Mixed Oxides Separated from Ilmenite Mineral, Black Sands, Rosetta, Egypt. Arab Journal of Nuclear Sciences and Applications, 50 (3), 43–57.
- Amer, A. M. (2002). Alkaline pressure leaching of mechanically activated Rosetta ilmenite concentrate. Hydrometallurgy, 67 (1-3), 125–133. [https://doi.org/10.1016/s0304-386x\(02\)00164-0](https://doi.org/10.1016/s0304-386x(02)00164-0)
- Pysarenko, S. V., Chernenko, V. Yu., Chyhyrynets, O. E., Kaminskyi, O. M., Myronyak, M. O. (2021). Alkaline leaching of titanium from ilmenite of Irshansk deposit. Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii, 6, 51–56. <https://doi.org/10.32434/0321-4095-2021-139-6-51-56>
- Pysarenko, S. V., Kaminskyi, O. M., Chyhyrynets, O. E., Chernenko, V. Yu., Myroniak, M. O., Shvalahin, V. V. (2022). Thermodynamics of leaching of leukoxenized ilmenite. Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii, 1, 83–87. <https://doi.org/10.32434/0321-4095-2022-140-1-83-87>

19. Fouda, M. F. R., Amin, R. S., Saleh, H. I., Mousa, H. A. (2010). Extraction of Ultrafine Titania from Black Sands Broaden on the Mediterranean Sea Coast in Egypt by Molten Alkalies. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 4 (9), 4256–4265. Available at: <https://www.ajbasweb.com/old/ajbas/2010/4256-4265.pdf>
20. Subagja, R., Andriyah, L., Hanum Lalasari, L. (2013). Decomposition of ilmenite from Bangka Island – Indonesia with KOH solutions. *Asian Transactions on Basic and Applied Sciences*, 3 (2), 59–64. Available at: <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=8b88ded1cc64a891b3992afc19f77e13fa1710ff>
21. Parirenyatwa, S., Escudero-Castejon, L., Sanchez-Segado, S., Hara, Y., Jha, A. (2016). Comparative study of alkali roasting and leaching of chromite ores and titaniferous minerals. *Hydrometallurgy*, 165, 213–226. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2015.08.002>
22. Pysarenko, S., Kaminskyi, O., Chyhyrnyets, O., Denysiuk, R., Anichkina, O., Chernenko, V. (2023). Kinetics of alkaline leaching process of titanium (IV) from ilmenite. *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*, 58 (6), 1146–1152. <https://doi.org/10.59957/jctm.v58i6.155>
23. mp-13133. *Materials Explorer*. Available at: <https://next-gen.materialsproject.org/materials/mp-13133/>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.306613
DETERMINING TECHNOLOGICAL PARAMETERS FOR OBTAINING TA15 TITANIUM ALLOY BLANKS WITH IMPROVED MECHANICAL CHARACTERISTICS USING THE ELECTRON-BEAM 3D PRINTING METHOD (p. 36–45)

Serhii Akhonin

E. O. Paton Electric Welding Institute
of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7746-2946>

Vladimir Nesterenkov

E. O. Paton Electric Welding Institute
of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7973-1986>

Volodymyr Pashynskiy

Technical University “Metinvest Polytechnic” LLC,
Zaporizhzhia, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0118-4748>

Vladyslav Matviichuk

E. O. Paton Electric Welding Institute
of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9304-6862>

Sviatoslav Motrunich

E. O. Paton Electric Welding Institute
of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8841-8609>

Volodymyr Berezos

State Enterprise “Scientific-Production Center “Titan”
of the E.O. Paton Electric Welding Institute
of the National Academy of Sciences of Ukraine”, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5026-7366>

Illia Klochkov

E. O. Paton Electric Welding Institute
of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6490-8905>

The object of this study is the process of electron beam 3D printing of articles made of TA15 titanium alloy powder. Peculiarities of the structure and properties formation of alloy blanks, obtained

by this method have been described. Influence of process parameters (electron beam power and geometric scanning parameters) on the characteristics of the material were considered.

Step of displacement of the beam trajectory changed from 0.1 to 0.25 mm with an interval of 0.05 mm. Specific energy of the electron beam varied from 20 to 70 J/mm³ for every trajectory displacement step.

The macrostructure was examined visually while the microstructure was studied by optical microscopy. Mechanical properties were determined by uniaxial tension and impact bending tests. It was established that depending on the 3D printing parameters the macrostructure of most samples is dense but with unfavorable parameters non-fusions or shrinkage porosity defects may form. The microstructure of the dendritic type has an $\alpha'+\beta$ lamellar-acicular morphology, its dispersity and shape of α' -phase areas vary depending on the process parameters.

A scanning step of 0.2 mm and a beam energy of 40 J/mm³ allows obtaining a dispersed microstructure in which there are no non-fusions and shrinkage micropores. The value of the R_m is 27 %, and the $R_{0.2}$ is 24 % higher than that of the alloy obtained by the conventional technology of electron beam melting. The A_5 is 3.2 times higher. However, impact toughness of the sample with dendrite unfavorable orientation to the direction of load applying may be lower compared to conventional technology. The results could be used for devising commercial technology of high strength titanium alloys parts produced by 3D printing.

Keywords: electron beam 3D printing, titanium alloy, TA15, technological parameters, metallographic studies.

References

1. Murr, L. E., Gaytan, S. M., Ramirez, D. A., Martinez, E., Hernandez, J., Amato, K. N. et al. (2012). Metal Fabrication by Additive Manufacturing Using Laser and Electron Beam Melting Technologies. *Journal of Materials Science & Technology*, 28 (1), 1–14. [https://doi.org/10.1016/s1005-0302\(12\)60016-4](https://doi.org/10.1016/s1005-0302(12)60016-4)
2. Lai, X., Yang, G., Wang, Y., Wei, Z. (2023). Heat and mass transfer in electron beam additive manufacturing. *International Journal of Mechanical Sciences*, 259, 108613. <https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2023.108613>
3. Shi, Y., Gong, S., Xu, H., Yang, G., Qiao, J., Wang, Z. et al. (2023). Electron beam metal additive manufacturing: Defects formation and in-process control. *Journal of Manufacturing Processes*, 101, 386–431. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2023.06.013>
4. Wang, X., Gong, X., Chou, K. (2015). Scanning Speed Effect on Mechanical Properties of Ti-6Al-4V Alloy Processed by Electron Beam Additive Manufacturing. *Procedia Manufacturing*, 1, 287–295. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.09.026>
5. Wang, X., Chou, K. (2018). EBSD study of beam speed effects on Ti-6Al-4V alloy by powder bed electron beam additive manufacturing. *Journal of Alloys and Compounds*, 748, 236–244. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2018.03.173>
6. Batalha, G. F., Silva, L. C., Coelho, R. S., Teixeira, M. C. C., Castro, T. L., Pereira, M. V. S. et al. (2024). Mechanical properties characterization of Ti-6Al-4 V grade 5 (recycled) additively manufactured by selective electron beam melting (EB-PBF). *Engineering Failure Analysis*, 157, 107892. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2023.107892>
7. Hrabec, N., Quinn, T. (2013). Effects of processing on microstructure and mechanical properties of a titanium alloy (Ti-6Al-4V) fabricated using electron beam melting (EBM), part 1: Distance from build plate and part size. *Materials Science and Engineering: A*, 573, 264–270. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2013.02.064>
8. Hrabec, N., Quinn, T. (2013). Effects of processing on microstructure and mechanical properties of a titanium alloy (Ti-6Al-4V) fabri-

cated using electron beam melting (EBM), Part 2: Energy input, orientation, and location. *Materials Science and Engineering: A*, 573, 271–277. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2013.02.065>

9. Tamayo, J. A., Riascos, M., Vargas, C. A., Baena, L. M. (2021). Additive manufacturing of Ti6Al4V alloy via electron beam melting for the development of implants for the biomedical industry. *Heliyon*, 7 (5), e06892. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06892>
10. Matviichuk, V. A., Nesterenkov, V. M., Berdnikova, O. M. (2022). Additive electron beam technology of manufacture of metal products from powder materials. *Avtomaticheskaya Svarka (Automatic Welding)*, 2022 (2), 16–25. <https://doi.org/10.37434/as2022.02.03>
11. Matviichuk, V. A., Nesterenkov, V. M. (2020). Additive electron beam equipment for layer-by-layer manufacture of metal products from powder materials. *The Paton Welding Journal*, 2020 (2), 41–46. <https://doi.org/10.37434/tpwj2020.02.08>
12. Akhonin, S., Pikulin, O., Berezos, V., Severyn, A., Erokhin, O., Kryzhanovskiy, V. (2022). Determining the structure and properties of heat-resistant titanium alloys VT3-1 and VT9 obtained by electron-beam melting. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (12 (119)), 6–12. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.265014>
13. Matviichuk, V., Nesterenkov, V., Berdnikova, O. (2022). Determining the influence of technological parameters of the electron-beam surfacing process on quality indicators. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (12 (115)), 21–30. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.253473>
14. Akhonin, S. V., Pikulin, O. M. (2019). Investigation of Effect of Electron Beam Surface Treatment of Titanium Alloy Ingots on Structure and Properties of Melted Metal. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 582 (1), 012047. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/582/1/012047>
15. Matviichuk, V., Nesterenkov, V., Berdnikova, O. (2024). Determining the influence of technological parameters of electron beam surfacing process on the microstructure and microhardness of Ti-6Al-4V alloy. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (12 (127)), 6–12. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.297773>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.306615

ENHANCING SIDE DIE RESISTANCE TO THERMAL SHOCK IN AUTOMOTIVE CASTING: A COMPARATIVE STUDY OF FCD550 AND SKD6 MATERIALS (p. 46–55)

Herry Patria

Politeknik Negeri Jakarta, Depok, West Java, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-1473-6930>

Iwan Susanto

Politeknik Negeri Jakarta, Depok, West Java, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7120-0374>

Belyamin Belyamin

Politeknik Negeri Jakarta, Depok, West Java, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9494-0105>

Dianta Mustofa Kamal

Politeknik Negeri Jakarta, Depok, West Java, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9336-8936>

Enhancement of side die resistance to thermal shock in mold disc car applications was achieved by substituting FCD550 material with SKD6 material. The primary issue addressed is the cracking of side dies due to thermal shock induced by an accelerated production process, leading to production halts and failure to meet large customer orders. The study aims to identify a material that can better withstand thermal shock than FCD550,

thereby improving the durability of side dies and the overall productivity of the manufacturing process. The research involved direct production experiments, analyzing the materials FCD550 and SKD6, evaluating die characteristics, and assessing finished product attributes before and after material changes. Laboratory tests and machine-setting trials were conducted, varying production processes and assessing the results. The findings indicate that SKD6 is significantly more resistant to thermal shock than FCD550 in mold disc car applications. The study compared the strength of side die materials using data sheets and adjusted setting parameters under existing cooling conditions. Experimentation involved altering the standard temperature from 520–545 °C to 532–538 °C and reducing the soaking time from a minimum of 270–540 seconds to 332 seconds. This reduced soaking time from 69 seconds to 46 seconds and aging time from 190 seconds to 180 seconds, increasing casting productivity from 194,870 pieces/28 days to 213,311 pieces/28 days across seven machines, thereby fulfilling the customer's requirement of 200,000 pieces/28 days without side die cracks. Durability testing on five product samples according to TSD5605G standards confirmed the quality as meeting customer specifications.

Keywords: thermal shock, die disc car wheel, manufacturing, automotive parts, casting productivity.

References

1. Wankhede, V. A., Vinodh, S. (2022). State of the art review on Industry 4.0 in manufacturing with the focus on automotive sector. *International Journal of Lean Six Sigma*, 13 (3), 692–732. Available at: <https://www.x-mol.net/paper/article/1451642237902290944>
2. Zhao, X., Gao, P., Zhang, Z., Wang, Q., Yan, F. (2020). Fatigue characteristics of the extruded AZ80 automotive wheel. *International Journal of Fatigue*, 132, 105393. <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2019.105393>
3. Klobčar, D., Kosec, L., Kosec, B., Tušek, J. (2012). Thermo fatigue cracking of die casting dies. *Engineering Failure Analysis*, 20, 43–53. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2011.10.005>
4. Schwam, D., Wallace, J., Birceanu, S. (2002). *Die Materials for Critical Applications and Increased Production Rates*. Office of Scientific and Technical Information (OSTI). <https://doi.org/10.2172/806823>
5. Su, Y., Fu, G., Liu, C., Liu, C., Long, X. (2021). Fatigue crack evolution and effect analysis of Ag sintering die-attachment in SiC power devices under power cycling based on phase-field simulation. *Microelectronics Reliability*, 126, 114244. <https://doi.org/10.1016/j.microrel.2021.114244>
6. Cai, H., Wang, Z., Liu, L., Li, Y., Xing, F., Guo, F. (2022). Crack source and propagation of AZ91-0.9Gd alloy. *Journal of Materials Research and Technology*, 16, 1571–1577. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.12.065>
7. Schumacher, O., Marvel, C. J., Kelly, M. N., Cantwell, P. R., Vinci, R. P., Rickman, J. M. et al. (2016). Complexion time-temperature-transformation (TTT) diagrams: Opportunities and challenges. *Current Opinion in Solid State and Materials Science*, 20 (5), 316–323. <https://doi.org/10.1016/j.cossms.2016.05.004>
8. Lordan, E., Zhang, Y., Dou, K., Jacot, A., Tzileroglou, C., Wang, S. et al. (2022). High-Pressure Die Casting: A Review of Progress from the EPSRC Future LiME Hub. *Metals*, 12 (10), 1575. <https://doi.org/10.3390/met12101575>
9. Luthfiyah, S., Faridh, A., Soegijono, B. (2019). The Effect of Vacuum Quenching on Corrosion and Hardness of the Surface of SKD61 Steel. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 694 (1), 012033. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/694/1/012033>

10. Sudjadi, U., Sinaga, R. V. (2020). Study of the hardness and microstructure profiles of SKD61 steel plunger tip (local material) after plasma nitriding. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 839 (1), 012019. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/839/1/012019>
11. Yi, W., Liu, G., Gao, J., Zhang, L. (2021). Boosting for concept design of casting aluminum alloys driven by combining computational thermodynamics and machine learning techniques. *Journal of Materials Informatics*. <https://doi.org/10.20517/jmi.2021.10>
12. Walsh, E., Maclean, N., Turner, A., Alsuleman, M., Prasad, E., Halbert, G. et al. (2022). Manufacture of tablets with structurally-controlled drug release using rapid tooling injection moulding. *International Journal of Pharmaceutics*, 624, 121956. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2022.121956>
13. Yang, Q., Wu, X., Qiu, X. (2023). Microstructural Characteristics of High-Pressure Die Casting with High Strength–Ductility Synergy Properties: A Review. *Materials*, 16 (5), 1954. <https://doi.org/10.3390/ma16051954>
14. Zhou, Y., Tian, N., Liu, W., Zeng, Y., Wang, G., Han, S. et al. (2022). Mechanism of heterogeneous distribution of Cr-containing dispersoids in DC casting 7475 aluminum alloy. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 32 (5), 1416–1427. [https://doi.org/10.1016/s1003-6326\(22\)65883-7](https://doi.org/10.1016/s1003-6326(22)65883-7)
15. Wei, C., Ou, J., Farhang Mehr, F., Maijer, D., Cockcroft, S., Wang, X. et al. (2021). A thermal-stress modelling methodology in ABAQUS for fundamentally describing the die/casting interface behaviour in a cyclic permanent die casting process. *Journal of Materials Research and Technology*, 15, 5252–5264. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.10.120>
16. Campos Neto, N. D., Korenyi-Both, A. L., Vian, C., Midson, S. P., Kaufman, M. J. (2023). The development of coating selection criteria to minimize die failure by soldering and erosion during aluminum high pressure die casting. *Journal of Materials Processing Technology*, 316, 117954. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2023.117954>
17. Ahmadein, M., Elsheikh, A. H., Alsaleh, N. A. (2022). Modeling of cooling and heat conduction in permanent mold casting process. *Alexandria Engineering Journal*, 61 (2), 1757–1768. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2021.06.048>
18. Niu, Z., Liu, G., Li, T., Ji, S. (2022). Effect of high pressure die casting on the castability, defects and mechanical properties of aluminium alloys in extra-large thin-wall castings. *Journal of Materials Processing Technology*, 303, 117525. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2022.117525>
19. Li, Z., Li, D., Zhou, W., Hu, B., Zhao, X., Wang, J. et al. (2022). Characterization on the formation of porosity and tensile properties prediction in die casting Mg alloys. *Journal of Magnesium and Alloys*, 10 (7), 1857–1867. <https://doi.org/10.1016/j.jma.2020.12.006>
20. Dudek, P., Białoń, J., Piwońska, J., Walczak, W., Wrzała, K. (2023). The impact on the cost of making high pressure die castings with multi-cavity die and vacuum assistance. *Vacuum*, 210, 111859. <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2023.111859>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.307040

SYNTHESIS OF NiCrAlY NANO-SCALE POWDER BY HIGH-ENERGY BALL MILLING PROCESS FOR THERMAL SPRAY COATING APPLICATION (p. 56–61)

Irma Pratiwi

Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7013-0300>

Husaini Ardy

Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7649-3372>

Budi Prawara

National Research and Innovation Agency, Bandung, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2650-5723>

Raden Dadan Ramdan

Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7037-6087>

Fahdzi Muttaqien

Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8970-444X>

These days, during the issues of climate change, there has been a shift in the energy industry from using fossil fuels to more environmentally friendly fuels such as biomass fuels. Biomass fuel is considered CO₂ neutral because the carbon produced during combustion in the form of CO₂ emissions can be used for new plant growth. However, besides the advantages of using biomass fuel, a problem arises when biomass fuel contains a high concentration of corrosive agents, which can be released along with hot fuel gas. These corrosive agents can damage the boiler components. Coating technology is one of the solutions to protect components that work at high temperatures against the corrosion threat. One type of coating that can be used in high-temperature applications is NiCrAlY coating by the high-velocity oxide (HVOF) process. One interesting topic that people are developing is using nano-scale coating to increase the coating's resistance against hot corrosion and cracking. Nano-scale powder feedstock is needed to produce nano-scale coating material. In this research, top-down method is used to synthesize nano-scale powder. One of top down method, the high-energy ball milling process, is a promising method to synthesize nano-scale powder material. Therefore, in this research, the ball milling process is used to prepare nano-scale product. The results showed that this method was successful to make the nano-scale powder. The nano-scale powder was characterized by several methods to investigate the morphology and properties of the powders. However, there are still many challenges in producing nano-scale powder that meets HVOF feedstock powder requirements. In the long run, it is expected that this research can answer those challenges so that at the end, the good quality of nano-scale powder can be achieved.

Keywords: coating, high-velocity oxygen fuel (HVOF), NiCrAlY, nano-scale powder, high-energy ball milling.

References

1. Wu, D., Yuan, Z., Liu, S., Zheng, J., Wei, X., Zhang, C. (2020). Recent Development of Corrosion Factors and Coating Applications in Biomass Firing Plants. *Coatings*, 10 (10), 1001. <https://doi.org/10.3390/coatings10101001>
2. Sadeghimeresh, E. (2018). Ni-based coatings for high temperature corrosion protection. University West. Available at: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1203387/FULLTEXT02.pdf>
3. Szymański, K., Hernas, A., Moskal, G., Myalska, H. (2015). Thermally sprayed coatings resistant to erosion and corrosion for power plant boilers - A review. *Surface and Coatings Technology*, 268, 153–164. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2014.10.046>
4. Vasudev, H., Thakur, L., Bansal, A., Singh, H., Zafar, S. (2019). High temperature oxidation and erosion behaviour of HVOF sprayed bilayer Alloy-718/NiCrAlY coating. *Surface and Coatings Technology*, 362, 366–380. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2019.02.012>
5. Lv, P., Sun, X., Cai, J., Zhang, C., Liu, X., Guan, Q. (2017). Microstructure and high temperature oxidation resistance of nickel based alloy GH4169 irradiated by high current pulsed electron beam. *Surface and Coatings Technology*, 309, 401–409. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2016.11.041>

6. Yang, H.-Z., Zou, J.-P., Shi, Q., Dai, M.-J., Lin, S.-S., Du, W., Lv, L. (2019). Analysis of the microstructural evolution and interface diffusion behavior of NiCoCrAlYTa coating in high temperature oxidation. *Corrosion Science*, 153, 162–169. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2019.03.022>
7. An, Q., Huang, L., Wei, S., Zhang, R., Rong, X., Wang, Y., Geng, L. (2019). Enhanced interfacial bonding and superior oxidation resistance of CoCrAlY-TiB₂ composite coating fabricated by air plasma spraying. *Corrosion Science*, 158, 108102. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2019.108102>
8. Luo, L., Zhang, H., Chen, Y., Zhao, C., Alavi, S., Guo, F. et al. (2018). Effects of the β phase size and shape on the oxidation behavior of NiCoCrAlY coating. *Corrosion Science*, 145, 262–270. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2018.10.008>
9. Quadackers, W. J., Shemet, V., Sebold, D., Anton, R., Wessel, E., Singheiser, L. (2005). Oxidation characteristics of a platinized MCrAlY bond coat for TBC systems during cyclic oxidation at 1000 °C. *Surface and Coatings Technology*, 199 (1), 77–82. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2004.11.038>
10. Pint, B. A., More, K. L. (2009). Characterization of alumina interfacial layers in TBC systems. *Journal of Materials Science*, 44 (7), 1676–1686. <https://doi.org/10.1007/s10853-008-3221-x>
11. Shourgeshty, M., Aliofkhaezai, M., Alipour, M. M. (2016). Introduction to High-Temperature Coatings. *High Temperature Corrosion*. <https://doi.org/10.5772/64282>
12. Shi, P., Wang, W., Wan, S., Gao, Q., Sun, H., Feng, X. et al. (2021). Tribological performance and high temperature oxidation behaviour of thermal sprayed Ni- and NiCrAlY-based composite coatings. *Surface and Coatings Technology*, 405, 126615. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2020.126615>
13. Suryanarayana, C. (2001). Mechanical alloying and milling. *Progress in Materials Science*, 46 (1-2), 1–184. [https://doi.org/10.1016/s0079-6425\(99\)00010-9](https://doi.org/10.1016/s0079-6425(99)00010-9)
14. Zakeri, A., Bahmani, E., Aghdam, A. S. R. (2020). Impact of MCrAlY feedstock powder modification by high-energy ball milling on the microstructure and high-temperature oxidation performance of HVOF-sprayed coatings. *Surface and Coatings Technology*, 395, 125935. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2020.125935>
15. Khodsiani, Z., Mansuri, H., Mirian, T. (2013). The effect of cryomilling on the morphology and particle size distribution of the NiCoCrAlYSi powders with and without nano-sized alumina. *Powder Technology*, 245, 7–12. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2013.04.010>
16. Borchers, C., Stoltenhoff, T., Hahn, M., Schulze, M., Assadi, H., Suryanarayana, C. et al. (2014). Strain-Induced Phase Transformation of MCrAlY. *Advanced Engineering Materials*, 17 (5), 723–731. <https://doi.org/10.1002/adem.201400174>
17. Kaplin, C., Brochu, M. (2014). The effect of grain size on the oxidation of NiCoCrAlY. *Applied Surface Science*, 301, 258–263. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2014.02.056>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.306965

ESTABLISHING PATTERNS IN THE STRUCTURE FORMATION OF POLYMER NANOCOMPOSITES BASED ON POLYAMIDE 6 DURING THEIR CRYSTALLIZATION PROCESSES (p. 62–68)

Nataliia Fialko

Institute of Engineering Thermophysics
of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0116-7673>

Nataliia Meranova

Institute of Engineering Thermophysics
of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7223-8753>

Julii Sherenkovskii

Institute of Engineering Thermophysics
of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9883-4913>

Raisa Navrodska

Institute of Engineering Thermophysics
of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7476-2962>

Vitalii Babak

General Energy Institute
of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9066-4307>

Volodymyr Korzhyk

E. O. Paton Electric Welding Institute
of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9106-8593>

Maxim Lazarenko

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0719-3522>

Neli Koseva

Institute of Polymers of the Bulgarian Academy of Sciences,
Sofia, Bulgaria
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8445-8953>

Oksana Konoreva

E. O. Paton Electric Welding Institute
of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1597-6968>

Roman Dinzhos

Petro Mohyla Black Sea National University, Mykolaiv, Ukraine
Institute of Polymers of the Bulgarian Academy of Sciences,
Sofia, Bulgaria
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1105-2642>

This paper reports experimental and computational studies on patterns in the structure formation of polymer nanocomposites when different types of fillers are used. The study was conducted for nanocomposites based on polyamide 6 filled with carbon nanotubes or silicon dioxide nanoparticles. In the course of research, the mass fraction of the filler varied from 0.2 % to 4.0 %, and the cooling rate of the melt composite varied from 0.5 K/min up to 20 K/min.

Data on experimental and theoretical studies into the mechanisms of structure formation of composites according to the method, which includes two stages, are given. According to the first stage, crystallization exotherms of nanocomposites were experimentally obtained when they are cooled from the melt at a given constant rate. The dependence of various characteristics of the crystallization process on the mass fraction of the filler and the cooling rate of the composite was established.

At the second stage, based on the analysis of the obtained crystallization exotherms, theoretical studies were performed to determine the mechanisms of structure formation of nanocomposites at different stages of crystallization. For the initial stage, according to the nucleation equation, the presence of two mechanisms of structure formation – planar and volumetric – has been shown.

Within the framework of the Kolmogorov-Avrami equation, the mechanisms of structure formation at the next stage of crystallization were established, which corresponds to the formation of ordered structures in the material within the volume of the polymer composite as a whole. The research was carried out assuming the existence of a mechanism of crystallization of the polymer matrix itself, which is realized on fluctuations in the density of the polymer, and a mechanism of crystallization, the centers of which are filler particles.

The use of the proposed nanocomposites is promising for the manufacture of parts of energy equipment, electronic equipment, elements of chemical, processing, defense industry installations, etc.

Keywords: polymer nanocomposites, carbon nanotubes, silicon dioxide, crystallization exotherms, structure formation mechanisms.

References

1. Nikam, P. N., Deshpande, V. D. (2019). Isothermal crystallization kinetics of PET/alumina nanocomposites using distinct macrokinetic models. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 138 (2), 1049–1067. <https://doi.org/10.1007/s10973-019-08192-x>
2. Sethy, S., Samantaray, S. K., Satapathy, B. K. (2021). Dynamic crystallization behavior of PA-12/PP-MWCNT nanocomposites: non-isothermal kinetics approach. *Journal of Polymer Engineering*, 42 (2), 87–99. <https://doi.org/10.1515/polyeng-2021-0195>
3. Fu, X., Dong, X., Yang, G., Bai, S. (2022). Non-isothermal crystallization kinetics of graphene/PA10T composites. *Heliyon*, 8 (8), e10206. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10206>
4. Wen, X., Su, Y., Li, S., Ju, W., Wang, D. (2021). Isothermal Crystallization Kinetics of Poly(ethylene oxide)/Poly(ethylene glycol)-g-silica Nanocomposites. *Polymers*, 13 (4), 648. <https://doi.org/10.3390/polym13040648>
5. Yu, F., Xiao, L. (2021). Non-isothermal crystallization kinetics of poly(ether sulfone) functionalized graphene reinforced poly(ether ether ketone) composites. *Polymer Testing*, 97, 107150. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2021.107150>
6. Mata-Padilla, J. M., Ávila-Orta, C. A., Almendárez-Camarillo, A., Martínez-Colunga, J. G., Hernández-Hernández, E., Cruz-Delgado, V.J. et al. (2020). Non-isothermal crystallization behavior of isotactic polypropylene/copper nanocomposites. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 143 (4), 2919–2932. <https://doi.org/10.1007/s10973-020-09512-2>
7. Dinzhos, R., Fialko, N., Prokopov, V., Sherenkovskiy, Y., Meranova, N., Koseva, N. et al. (2020). Identifying the influence of the polymer matrix type on the structure formation of microcomposites when they are filled with copper particles. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (6 (107)), 49–57. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.214810>
8. Dolinskiy, A., Fialko, N., Dinzhos, R., Navrodskaia, R. (2015). Structure formation of polymer micro- and nanocomposites based on polycarbonate in the process of their crystallization. *Thermophysics and Thermal Power Engineering*, 37 (3), 5–15. <https://doi.org/10.31472/ihe.3.2015.01>
9. Fialko, N., Dinzhos, R., Sherenkovskii, J., Meranova, N., Izvorska, D., Korzhyk, V. et al. (2021). Establishing patterns in the effect of temperature regime when manufacturing nanocomposites on their heat-conducting properties. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (5 (112)), 21–26. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.236915>
10. Vunderlih, B. (1979). *Fizika makromolekul. Vol. 2: Zarozhdenie, rost i otzhig kristallov*. Moscow: Mir, 576.
11. Privalko, E., Dinzhos, V., Rehteta, N., Vaschuk, A. (2013). Application of method of differential scanning calorimetry is for the study of mechanism of gelation of composition on the basis of carbonanotube. *Visnyk Natsionalnoho aviatyynoho universytetu*, 2 (55), 214–218. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vnau_2013_2_34

АНОТАЦІЇ
MATERIALS SCIENCE

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.304719

ВИЯВЛЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ЗМІНИ ТРИБОЛОГІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЕТАЛЕЙ МАШИН НА ОСНОВІ ФЕНІЛОНУ ТА ПОЛІАМІДА З АРМУВАННЯМ АРІМІДУ-Т І ФУЛЕРЕНУ (с. 6–18)**В. В. Аулін, І. Л. Роговський, О. Л. Ляшук, А. А. Тихий, О. В. Кузик, А. В. Дворник, О. П. Деркач, С. В. Лисенко, О. О. Банний, А. В. Гриньків**

Об'єктом дослідження є процес зміни трибологічної ефективності за триботехнічними характеристиками композитів на основі фенілону С-1 і поліаміду ПА-6 з наповнювачем арміду-Т та фулерену С60. В дослідженні вирішувалась проблема отримання композитів з високою зносостійкістю.

За результатами досліджень встановлено, що варіювання вмістом арміду-Т, дає можливість отримати композити з різними закономірностями зміни триботехнічних характеристик в умовах сухого тертя, змащення водою і оливою І-50. Максимальну трибологічну ефективність мають композити зі складом: фенілон С-1+15 мас. % арміду-Т+3 мас. % фулерену С60 та поліаміду ПА-6+30 мас. % арміду-Т+3 мас. % фулерену С60.

Фенілон С-1 має деструкційні властивості при роботі в середовищі води і температури в зоні тертя. Його армування армідом-Т та фулерену С60 дало позитивні результати комплексу триботехнічних характеристик в цих умовах. Виявлено, що знос композитів на основі фенілону С-1 в оливі І-50 на два порядки менший ніж у воді. Дослідження зразків з отриманих композитів на основі фенілону С-1 і поліаміду ПА-6, армованих оптимальним вмістом арміду-Т та фулерену С60, показали, що їх зносостійкість при змащенні оливою в 3,5...4,0 разів більша зносостійкості бронзи.

Прикладним аспектом отриманих результатів є впровадження технологій виготовлення та відновлення деталей машин із запропонованих композитів. Доведено, що їх оптимальний склад сприяє високій трибологічній ефективності та забезпечить необхідний рівень зносостійкості і надійності ресурсовизначальних вузлів, систем і агрегатів машин.

Отримані результати можуть бути використані машинобудівними і ремонтно-технологічними підприємствами.

Ключові слова: фенілон, поліамід, армід, композит, зношування, інтенсивність зносу, коефіцієнт тертя, температура.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.305739

РОЗРОБКА ТРИБОТЕХНІЧНИХ ЕПОКСИКОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ, АРМОВАНИХ ПОДРІБНЕНИМИ ВОЛОКНАМИ ТА МОДИФІКОВАНИХ КРЕМНІЙОРГАНІЧНИМ ЛАКОМ (с. 19–27)**В. П. Кашицький, О. Л. Садова, В. В. Ткачук, О. В. Шегинський, І. О. Парфентьева**

Об'єктом дослідження є модифіковані епоксикомпозитні матеріали фрикційного призначення, що містять оброблені у фізичних полях волокнисті наповнювачі. Розглянуто технологічні аспекти розробки епоксикомпозитів триботехнічного призначення, які повинні витримувати вплив підвищених температур. В такому випадку епоксиолімерна матриця потребує модифікації структури, що досягається в результаті введення термостійкого кремнійорганічного лаку. Кремнійорганічні лаки та подрібнені волокна містять технологічні добавки, що ускладнює процес структурування епоксикомпозитів та призводить до появи дефектів структури. Видалення технологічних добавок та очищення поверхні скляних та арамідних волокон від замаслювачів можливе в результаті обробки компонентів композиції у фізичних полях. При цьому виникає потреба в дослідженні впливу фізичних полів на процеси структурування епоксисистеми та формування структури епоксикомпозитів з комплексом заданих властивостей. Модифіковані епоксикомпозити містять оброблені ультразвуком подрібнені арамідні та скляні волокна. Дослідження триботехнічних характеристик епоксикомпозитів проведено за швидкості ковзання $V=1,0$ м/с зі зміною питомого навантаження від 0,5 МПа до 1,5 МПа. Температура в зоні трибоконтакту під час фрикційної взаємодії підвищується до 100 °С із збільшенням питомого навантаження. Зафіксовано підвищення щільності поверхневого шару трибоконтакту епоксикомпозитів, компоненти яких оброблено у фізичних полях. На основі досліджень розроблено практичні рекомендації щодо впровадження технології обробки компонентів у фізичних полях, що забезпечує структурування епоксикомпозитів з високими триботехнічними характеристиками.

Ключові слова: скляні волокна, арамідні волокна, електромагнітне поле, обробка ультразвуком, інтенсивність зношування.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.304661

ВИЗНАЧЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ВИЛУГОВУВАННЯ ТИТАНУ (IV) З ІЛЬМЕНІТУ ІРШАНСЬКОГО РОДОВИЩА (с. 28–35)**С. В. Писаренко, О. М. Камінський, Р. О. Денисюк, О. С. Євдоченко, О. Е. Чигиринець, О. В. Анічкіна, О. Ю. Авдєєва, Ю. В. Лисецька**

В роботі в якості об'єкта дослідження використано ільменітовий концентрат Іршанського родовища. Визначено елементний склад мінеральної сировини, підтверджено його структуру за допомогою рентгенівської дифракції та скануючої електронної мікроскопії. Експериментальні дослідження показали, що ільменітовий концентрат Іршанського родовища має значний вміст

титану в перерахунку на титан діоксид (79 %). Мінеральна сировина з таким хімічним складом є унікальною, тому постає потреба в пошуку альтернативних способів її переробки. Встановлено, що максимальний ступінь вилучення у процесі лужного вилуговування ільменітового концентрату досягається за умови, що середній діаметр частинок мінеральної сировини повинен становити ≤ 71 мкм. В результаті температурних досліджень виявили, що за атмосферного тиску для отримання калій титанату достатньою є температура 453 К. Подальше підвищення температури не забезпечує суттєве зростання ступеня вилучення титану, а також сприяє утворенню політитанатів різного складу. Дослідження впливу мольного співвідношення вихідних реагентів на ступінь вилучення титану(IV) з ільменітового концентрату показало, що оптимальне мольне співвідношення між компонентами відповідає стехіометричному і становить 1:2. Збільшення кількості калій гідроксиду в реакційній суміші є недоцільним, оскільки при цьому зменшується вихід калій титанату, а кінцевий продукт матиме високу лужність за рахунок надлишку лугу. Оптимальний час лужного вилуговування становить 3 години постійного нагріву на гліцериновій бані. Подальше збільшення тривалості нагрівання не призводить до збільшення величини ступеня вилучення, що пов'язано з дифузією лугу з поверхні зародку в об'єм частинок ільменіту через утворені продукти взаємодії та анігіляції початкових зародків.

Ключові слова: ільменітовий концентрат, лужне вилуговування, калій гідроксид, калій титанат, ступінь вилучення.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.306613

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ОТРИМАННЯ ЗАГОТОВОК ТИТАНОВОГО СПЛАВУ TA15 З ПІДВИЩЕНИМИ МЕХАНІЧНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ МЕТОДОМ ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВОГО 3D ДРУКУ (с. 36–45)

С. В. Ахонін, В. М. Нестеренков, В. В. Пашинський, В. А. Матвійчук, С. І. Мотруніч, В. О. Березос, І. М. Ключков

Об'єктом дослідження є процес електронно-променевого 3D друку виробів із порошку титанового сплаву TA15. В роботі розглянуто особливості формування структури та властивостей заготовок сплаву, отриманого вказаним методом. Досліджено вплив параметрів процесу (потужності електронного пучка та геометричних параметрів сканування) на формування структури та механічних властивостей матеріалу.

Крок змінення траєкторії променя змінювали від 0,1 до 0,25 мм з інтервалом 0,05 мм. Питому енергію електронного променя змінювали від 20 до 70 Дж/мм³ для кожного значення кроку змінення траєкторії.

Макроструктуру досліджували візуально, мікроструктуру вивчали методом оптичної мікроскопії. Механічні властивості визначали при випробуваннях на одинісний розтяг та ударний згин. Встановлено, що в залежності від параметрів 3D друку макроструктура більшості зразків є щільною, але при несприятливих параметрах можуть формуватися дефекти у вигляді несплавлень або вторинної усадкової пористості. Мікроструктура дендритного типу має $\alpha' + \beta$ пластинчасто-голчасту морфологію, її дисперсність та форма виділень α' -фази змінюється в залежності від параметрів процесу.

Визначено, що крок сканування 0,2 мм та енергія променя 40 Дж/мм³ дозволяє отримати дисперсну мікроструктуру матеріалу, в якому відсутні несплавлення та мікропори усадки. Значення характеристик міцності на 24–27 % вищі, ніж у сплаву отриманого по традиційній технології електронно променевого плавлення. Відносне подовження вище у 3,2 рази. Проте значення ударної в'язкості при несприятливій орієнтації зразка по відношенню до напрямку прикладення навантаження можуть бути нижче у порівнянні з традиційною технологією. Отримані результати можуть бути використані при розробці промислової технології 3D друку виробів з високоміцних титанових сплавів.

Ключові слова: електронно-променевий 3D друк, титановий сплав, TA15, технологічні параметри, металографічні дослідження.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.306615

ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ БОКОВОЇ МАТРИЦІ ДО ТЕРМІЧНОГО УДАРУ В АВТОМОБІЛЬНОМУ ЛИТТІ: ПОРІВНЯЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕРІАЛІВ FCD550 ТА SKD6 (с. 46–55)

Herry Patria, Iwan Susanto, Belyamin, Dianta Mustofa Kamal

Підвищення стійкості бокових матриць до термічного удару в машинах із прес-формами було досягнуто шляхом заміни матеріалу FCD550 матеріалом SKD6. Основною проблемою, яку розглядають, є розтріскування бічних матриць через термічний удар, спричинений прискореним виробничим процесом, що призводить до зупинки виробництва та невиконання великих замовлень клієнтів. Дослідження спрямоване на визначення матеріалу, який може краще протистояти термічному удару, ніж FCD550, тим самим підвищуючи довговічність бічних матриць і загальну продуктивність виробничого процесу. Дослідження включало прямі виробничі експерименти, аналіз матеріалів FCD550 і SKD6, оцінку характеристик матриці та оцінку характеристик готового продукту до та після зміни матеріалу. Були проведені лабораторні випробування та випробування налагодження машин, варіювання виробничих процесів та оцінка результатів. Отримані дані свідчать про те, що SKD6 є значно стійкішим до термічного удару, ніж FCD550 у машинах із прес-формами. Дослідження порівнювало міцність матеріалів бічних матриць за допомогою таблиць даних і скоригованих параметрів налаштування в існуючих умовах охолодження. Експеримент передбачав зміну стандартної температури з 520–545 °C до 532–538 °C і скорочення часу замочування з мінімум 270–540 секунд до 332 секунд. Це скоротило час замочування з 69 секунд до 46 секунд і час витримки зі 190 секунд до 180 секунд, підвищивши продуктивність лиття з 194870 штук/28 днів до 213311 штук/28 днів на семи машинах, таким чином задовольняючи вимоги замовника щодо 200000 штук/28 днів без бічних тріщин. Випробування на довговічність п'яти зразків продукції відповідно до стандартів TSD5605G підтвердили, що якість відповідає вимогам замовника.

Ключові слова: термічний удар, дискове колесо, виробництво, автомобільні деталі, продуктивність лиття.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.307040**СИНТЕЗ НАНОРОЗМІРНОГО ПОРОШКУ NiCrAlY ШЛЯХОМ ВИСОКОЕНЕРГІЙНОГО КУЛЬОВОГО ФРЕЗЕРУВАННЯ ДЛЯ НАНЕСЕННЯ ПОКРИТТЯ ТЕРМІЧНИМ РОЗПИЛЕННЯМ (с. 56–61)****Irma Pratiwi, Husaini Ardy, Budi Prawara, Raden Dadan Ramdan, Fahdzi Muttaqien**

Сьогодні, під час проблем зміни клімату, в енергетичній промисловості відбувся перехід від використання викопного палива до більш екологічно чистого палива, такого як паливо з біомаси. Паливо з біомаси вважається CO₂-нейтральним, оскільки вуглець, що утворюється під час спалювання у вигляді викидів CO₂, можна використовувати для росту нових рослин. Однак, крім переваг використання палива з біомаси, виникає проблема, коли паливо з біомаси містить високу концентрацію корозійних речовин, які можуть вивільнятися разом з гарячим паливним газом. Ці корозійні речовини можуть пошкодити компоненти котла. Технологія покриття є одним із рішень для захисту компонентів, які працюють при високих температурах, від загрози корозії. Одним із типів покриття, яке можна використовувати у високотемпературних застосуваннях, є покриття NiCrAlY за допомогою високошвидкісного оксидного процесу (ВОП). Однією з цікавих тем є використання наномасштабного покриття для підвищення стійкості покриття до гарячої корозії та розтріскування. Нанорозмірна порошкова сировина необхідна для виробництва нанорозмірного матеріалу покриття. У цьому дослідженні метод «зверху вниз» використовується для синтезу нанорозмірного порошку. Один з найкращих методів, процес високоенергетичного фрезерування, є перспективним методом синтезу нанорозмірного порошкового матеріалу. Тому в цьому дослідженні для приготування нанорозмірного продукту використовується процес кульового фрезерування. Результати показали, що цей метод був успішним для виготовлення нанорозмірного порошку. Нанорозмірний порошок був охарактеризований кількома методами для дослідження морфології та властивостей порошків. Однак у виробництві нанорозмірного порошку, який відповідає вимогам порошкової сировини ВОП, все ще існує багато проблем. У довгостроковій перспективі очікується, що це дослідження зможе відповісти на ці виклики, щоб у підсумку можна було досягти прийнятної якості нанорозмірного порошку.

Ключові слова: покриття, високошвидкісне оксидний процес (ВОП), NiCrAlY, нанорозмірний порошок, високоенергетичне фрезерування.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.306965**ВСТАНОВЛЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ ПОЛІМЕРНИХ НАНОКОМПЗИТІВ НА ОСНОВІ ПОЛІАМІДУ 6 У ПРОЦЕСАХ ЇХ КРИСТАЛІЗАЦІЇ (с. 62–68)****Н. М. Фіалко, Н. О. Меранова, Ю. В. Шеренковський, Р. О. Навродська, В. П. Бабак, В. М. Коржик, М. М. Лазаренко, Neli Koseva, O. B. Конорева, P. B. Дінжос**

Стаття присвячена експериментально-розрахунковим дослідженням закономірностей структуроутворення полімерних наноконкомпозитів при використанні різних типів наповнювачів. Дослідження проведено для наноконкомпозитів на основі поліаміду 6, наповненого вуглецевими нанотрубками або наночастинками діоксиду кремнію. В ході досліджень варіювалася масова частка наповнювача – від 0,2 % до 4,0 %, та швидкість охолодження композиту з розплаву – від 0,5 К/хв. до 20 К/хв.

Наведено дані експериментально-теоретичних досліджень механізмів структуроутворення композитів за методикою, що включає два етапи. Згідно з першим етапом експериментально одержано екзотерми кристалізації наноконкомпозитів при їх охолодженні з розплаву з заданою постійною швидкістю. Встановлено залежність різних характеристик процесу кристалізації від масової частки наповнювача та швидкості охолодження композиту.

На другому етапі на основі аналізу одержаних екзотерм кристалізації виконано теоретичні дослідження з визначення механізмів структуроутворення наноконкомпозитів на різних стадіях кристалізації. Для початкової стадії згідно з рівняннями нуклеації показано наявність двох механізмів структуроутворення – площинного і об'ємного.

В рамках рівняння Колмогорова – Аврамі встановлено механізми структуроутворення на наступній стадії кристалізації, що відповідає формуванню в матеріалі впорядкованих структур у об'ємі полімерного композиту в цілому. Дослідження виконано в припущенні наявності механізму кристалізації власне полімерної матриці, який реалізується на флуктуаціях густини полімеру, та механізму кристалізації, центрами якої слугують частинки наповнювача.

Використання запропонованих наноконкомпозитів є перспективним для виготовлення деталей енергетичного обладнання, електронної техніки, елементів установок хімічної, переробної, оборонної промисловості тощо.

Ключові слова: полімерні наноконкомпозити, вуглецеві нанотрубки, діоксид кремнію, екзотерми кристалізації, механізми структуроутворення.