

ABSTRACT AND REFERENCES

MATERIALS SCIENCE

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.281807

ANALYSIS OF THE THERMAL SHOCK AND FOULING RESISTANCE OF THE KALIMANTAN ZIRCON BASED HYBRID COMPOSITE CERAMIC COATING IN BOILER ENVIRONMENT (p. 6–17)**Yulinda Lestari**National Research and Innovation Agency (BRIN),
Tangerang Selatan, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5141-8592>**Anne Zulfia**University of Indonesia, Jawa Barat, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6517-6726>**Muhammad Ardin**Sumbawa Engineering University, Batu Alang, Moyo Hulu,
Sumbawa Besar, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-3296-0487>**Septian Adi Chandra**National Research and Innovation Agency (BRIN),
Tangerang Selatan, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3396-1089>**Fauzi Widyawati**Sumbawa Engineering University, Batu Alang, Moyo Hulu,
Sumbawa Besar, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-1969-8668>**Efendi Mabruhi**National Research and Innovation Agency (BRIN),
Tangerang Selatan, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8175-1329>

Power plant boilers operate at relatively high temperatures and pressures. As they are prone to material degradation, fouling and scaling, the materials used must have good thermal and chemical resistance. Coating material is one of the solutions to problems that exist in boilers. In this study, the basic coating material used came from local mineral resources, namely Kalimantan zircon sand and zirconia that had been purified from zircon sand. And there is the addition of filler as a coating reinforcement so that the coating properties become better. The variables of this study are variations of filler materials that have lubricating properties such as hBN, MoS₂, graphite and a mixture of the three fillers (hybrid). The coating method used is slurry spray coating and then sintering at 600 °C. The main coating parameter tests carried out were thermal shock and anti-fouling resistance. From the research results, it was found that the purification of Zircon Sand resulted in an increase in Zirconia content from 59 % to 68 %. From the results of the thermal shock resistance and anti-fouling tests, it was found that the coating with purified zircon has better thermal shock resistance while the fouling resistance is not significantly different from unrefined zircon sand, so it is necessary to develop a zircon purification process to obtain a higher ZrO₂ content. For filler variations, the hybrid filler produces a coating with better thermal shock and anti-fouling resistance so that it can be used for optimizing ceramic composite coatings.

Keywords: zircon sand ceramic coating, purified zircon ceramic coating, lubricant, slurry spray, thermal shock, fouling resistance.

References

- Ahmed, G. M. S., Mohiuddin, Mohd. V., Sultana, S., Dora, H. K., Singh, V. D. (2015). Microstructure Analysis and Evaluation of Mechanical Properties of Nickel Based Super Alloy CCA617. *Materials Today: Proceedings*, 2 (4-5), 1260–1269. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2015.07.041>
- Mabruhi, E., Syahlan, Z. A., Sahlan, Prifiharni, S., Anwar, M. S., Chandra, S. A. et al. (2017). Influence of Austenitizing Heat Treatment on the Properties of the Tempered Type 410-1Mo Stainless Steel. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 202, 012085. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/202/1/012085>
- Müller-Steinhagen, H., Malayeri, M. R., Watkinson, A. P. (2011). Heat Exchanger Fouling: Mitigation and Cleaning Strategies. *Heat Transfer Engineering*, 32 (3-4), 189–196. doi: <https://doi.org/10.1080/01457632.2010.503108>
- Gomes da Cruz, L., Ishiyama, E. M., Boxler, C., Augustin, W., Scholl, S., Wilson, D. I. (2015). Value pricing of surface coatings for mitigating heat exchanger fouling. *Food and Bioproducts Processing*, 93, 343–363. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2014.05.003>
- Santos, O., Anehamre, J., Wictor, C., Tornqvist, A., Nilsson, M. (2013). Minimizing crude oil fouling by modifying the surface of heat exchangers with a flexible ceramic coating. In *Proc. Heat Exchanger Fouling & Cleaning X*, 79–84.
- Wang, J., Yuan, Y., Chi, Z., Zhang, G. (2018). Development and application of anti-fouling ceramic coating for high-sodium coal-fired boilers. *Journal of the Energy Institute*, 91 (6), 962–969. doi: <https://doi.org/10.1016/j.joei.2017.08.003>
- Zhang, Z., Chen, H., Wang, Y., Wang, G., Li, L., Zhong, M., Bai, H. (2022). Effect of sodium silicate binder on the performance of ceramic coatings on copper prepared by the slurry method. *Surface and Coatings Technology*, 448, 128868. doi: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2022.128868>
- Hirvonen, A., Nowak, R., Yamamoto, Y., Sekino, T., Niihara, K. (2006). Fabrication, structure, mechanical and thermal properties of zirconia-based ceramic nanocomposites. *Journal of the European Ceramic Society*, 26 (8), 1497–1505. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2005.03.232>
- Fazel, M., Jazi, M. R. G., Bahramzadeh, S., Bakhshi, S. R., Ramazani, M. (2014). Effect of solid lubricant particles on room and elevated temperature tribological properties of Ni–SiC composite coating. *Surface and Coatings Technology*, 254, 252–259. doi: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2014.06.027>
- Kumar, R., Antonov, M. (2021). Self-lubricating materials for extreme temperature tribo-applications. *Materials Today: Proceedings*, 44, 4583–4589. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.10.824>
- Sun, X., Zhang, J., Pan, W., Wang, W., Tang, C. (2023). A review on the preparation and application of BN composite coatings. *Ceramics International*, 49 (1), 24–39. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2022.10.259>
- Mischke, P. (2014). *Film Formation: in Modern Paint Systems*. Hannover, Germany: Vincentz Network. doi: <https://doi.org/10.1515/9783748602262>
- Wu, Z., Li, S., Zhang, P., Wang, C., Deng, C., Mao, J., Li, W., Tu, X. (2022). Controllable in-situ synthesis of MoS₂/C in plasma-sprayed YSZ coatings: Microstructure, mechanical and tribological properties. *Surface and Coatings Technology*, 448, 128895. doi: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2022.128895>
- Tuo, Y., Yang, Z., Guo, Z., Chen, Y., Hao, J., Zhao, Q. et al. (2023). Pore structure optimization of MoS₂/Al₂O₃ self-lubricating ceramic coating for improving corrosion resistance. *Vacuum*, 207, 111687. doi: <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2022.111687>
- Marcinauskas, L., Mathew, J. S., Miliška, M., Aikas, M., Kalin, M. (2023). Influence of graphite content on the tribological properties

- of plasma sprayed alumina-graphite coatings. *Surfaces and Interfaces*, 38, 102763. doi: <https://doi.org/10.1016/j.surf.2023.102763>
16. Eichler, J., Lesniak, C. (2008). Boron nitride (BN) and BN composites for high-temperature applications. *Journal of the European Ceramic Society*, 28 (5), 1105–1109. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2007.09.005>
 17. Zhao, W., Pan, J., Fang, Y., Che, X., Wang, D., Bu, K., Huang, F. (2018). Metastable MoS₂: Crystal Structure, Electronic Band Structure, Synthetic Approach and Intriguing Physical Properties. *Chemistry - A European Journal*, 24 (60), 15942–15954. doi: <https://doi.org/10.1002/chem.201801018>
 18. Jara, A. D., Betemariam, A., Woldetinsae, G., Kim, J. Y. (2019). Purification, application and current market trend of natural graphite: A review. *International Journal of Mining Science and Technology*, 29 (5), 671–689. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2019.04.003>
 19. Lee, K. N., Waters, D. L., Puleo, B. J., Garg, A., Jennings, W. D., Costa, G., Sacksteder, D. E. (2020). Development of oxide-based High temperature environmental barrier coatings for ceramic matrix composites via the slurry process. *Journal of the European Ceramic Society*, 41 (2), 1639–1653. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2020.10.012>
 20. Wang, J., Yuan, Y., Chi, Z., Zhang, G. (2018). High-temperature sulfur corrosion behavior of h-BN-based ceramic coating prepared by slurry method. *Materials Chemistry and Physics*, 206, 186–192. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2017.12.025>
 21. Jiapei, J., Yongnan, C., Chaoping, J., Yong, Z., Qinyang, Z., Zhen, Z. et al. (2022). Composite ceramic coating with enhanced thermal shock resistance formed by the in-situ synthesis of nano-ZrO₂. *Ceramics International*, 48 (8), 10629–10637. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2021.12.277>
 22. Liu, Q., Hu, X. P., Zhu, W., Liu, G. L., Guo, J. W., Bin, J. (2022). Thermal shock performance and failure behavior of Zr₆Ta₂O₁₇₋₈YSZ double-ceramic-layer thermal barrier coatings prepared by atmospheric plasma spraying. *Ceramics International*, 48 (17), 24402–24410. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2022.05.046>
 23. Sigaroodi, M. R. J., Poursaeidi, E., Rahimi, J., Jamalabad, Y. Y. (2023). Heat treatment effect on coating shock resistance of thermal barrier coating system with different types of bond coat. *Journal of the European Ceramic Society*, 43 (8), 3658–3675. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2023.01.035>
 24. Cañas, E., Rosado, E., Alcázar, C., Orts, M. J., Moreno, R., Sánchez, E. (2022). Challenging zircon coatings by suspension plasma spraying. *Journal of the European Ceramic Society*, 42 (10), 4369–4376. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2022.03.049>
 25. Barish, J. A., Goddard, J. M. (2013). Anti-fouling surface modified stainless steel for food processing. *Food and Bioproducts Processing*, 91 (4), 352–361. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2013.01.003>
 26. Ishiyama, E. M., Paterson, W. R., Wilson, D. I. (2008). Thermo-hydraulic channelling in parallel heat exchangers subject to fouling. *Chemical Engineering Science*, 63 (13), 3400–3410. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ces.2008.04.008>
 27. Ayala, L. (2015). Technical handbook on zirconium and zirconium compounds. Zircon Industry Association.
 28. Musyarofah, Lestari, N. D., Nurlaila, R., Muwwoqor, N. F., Triwikantoro, Pratapa, S. (2019). Synthesis of high-purity zircon, zirconia, and silica nanopowders from local zircon sand. *Ceramics International*, 45 (6), 6639–6647. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2018.12.152>
 29. Yuhelda, Y., Amalia, D., Nugraha, E. P. (2017). Processing zirconia through zircon sand smelting with NaOH as a flux. *Indonesian Mining Journal*, 19 (1), 39–49. doi: <https://doi.org/10.30556/imj.vol19.no1.2016.364>
 30. Yamagata, C., Andrade, J. B., Ussui, V., de Lima, N. B., Paschoal, J. O. A. (2008). High Purity Zirconia and Silica Powders via Wet Process: Alkali Fusion of Zircon Sand. *Materials Science Forum*, 591-593, 771–776. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.591-593.771>
 31. Ray, H. S., Ghosh, A. (2010). *Principles of Extractive Metallurgy*. New Delhi: New Age International (P) Limited Publisher.
 32. Mutimmah, Yuswono, S., Akbar, D. W., Nugroho, T. P., Rahman, Nofrizal, R., Ikono, Siswanto, Rochman, N. T. (2013). Optimization of Zirconia Extraction Made from Silicate Zircon Sand Through Base Reduction. *Proceedings of Semirata FMIPA, University of Lampung*, 401–404.
 33. Sarkar, M., Mandal, N. (2022). Solid lubricant materials for high temperature application: A review. *Materials Today: Proceedings*, 66, 3762–3768. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.06.030>
 34. Bittmann, B., Hauptert, F., Schlarb, A. K. (2009). Ultrasonic dispersion of inorganic nanoparticles in epoxy resin. *Ultrasonics Sonochemistry*, 16 (5), 622–628. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2009.01.006>
 35. Billotte, C., Fotsing, E. R., Ruiz, E. (2017). Optimization of Alumina Slurry for Oxide-Oxide Ceramic Composites Manufactured by Injection Molding. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2017, 1–9. doi: <https://doi.org/10.1155/2017/2748070>
 36. Tajima, R., Kato, Y. (2011). Comparison of threshold algorithms for automatic image processing of rice roots using freeware ImageJ. *Field Crops Research*, 121 (3), 460–463. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.01.015>
 37. Nguyen, M., Bang, J., Kim, Y., Bin, A., Hwang, K., Pham, V.-H., Kwon, W.-T. (2018). Anti-Fouling Ceramic Coating for Improving the Energy Efficiency of Steel Boiler Systems. *Coatings*, 8 (10), 353. doi: <https://doi.org/10.3390/coatings8100353>
 38. Poernomo, H. (2012). *Zirconium General Information*. Yogyakarta: National Nuclear Energy Agency, Center for Material Process and Accelerator Technology.
 39. Donachie, M. (2000). *Titanium: A Technical Guide*. ASM International. doi: <https://doi.org/10.31399/asm.tb.ttg2.9781627082693>
 40. Xiao, K., Xue, W., Li, Z., Wang, J., Li, X., Dong, C. et al. (2018). Effect of sintering temperature on the microstructure and performance of a ceramic coating obtained by the slurry method. *Ceramics International*, 44 (10), 11180–11186. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2018.03.147>
 41. Lee, S.-H., Themelis, N. J., Castaldi, M. J. (2007). High-Temperature Corrosion in Waste-to-Energy Boilers. *Journal of Thermal Spray Technology*, 16 (1), 104–110. doi: <https://doi.org/10.1007/s11666-006-9005-4>
 42. Cheng, Y., Miu, L., Hou, B. (1990). *Fatigue Strength[M]*. Beijing: China Railway Press, 11.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.280474

USING OF MICROSILICA FOR IMPROVEMENT OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF EPOXIDE-BASED COMPOSITE MATERIAL (p. 18–25)

Gulnara Kokayeva

S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University,
Astana, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9571-5081>

Rimma Niyazbekova

S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University,
Astana, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8688-1408>

Mira Serepayeva

S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University,
Astana, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0129-1503>

Ainur Ibzhanova

S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University, Astana,
Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6768-3262>

Amirbek BekeshevK. Zhubanov Aktobe Regional University,
Aktobe, Republic of Kazakhstan**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-7038-4631>

Utilization of industrial waste and secondary raw materials, in particular, in the production of metallic silicon and silicon-containing alloys, which include silica vapors (microsilica), is the main task of implementing environmental policy and solves the problem of their storage and negative impact on the environment, in order to reuse them in polymer composites. The use of microsilica as a filler in composite materials based on epoxy resins contributes to a positive effect on the basic properties of the resin, and also makes it possible to use the composite material as coatings and parts in the repair of machinery and equipment. The aim of the work was to establish the positive effect of microsilica as a filler in composite materials based on ED-20 epoxy resin on improving the physical and mechanical properties of composite materials. Within the framework of this work, studies were conducted to test composite materials based on ED-20 epoxy resin, differing in different filler content of 2, 5, 10, 15 wt. % on impact strength, tensile strength and modulus of elasticity, adhesion and impact strength of the coating.

The analysis of the obtained results showed a positive effect of microsilica as a filler in composite materials based on ED-20 epoxy resin on the physical and mechanical properties of the composite material. The optimal filler content was determined, which is 2 % of the mass of the ED-20 epoxy resin, while an increase in adhesion, toughness of the composite material by 45 %, tensile strength and modulus of elasticity by 21 % and 5 %, respectively, and the strength of the coating on impact by 32 %, compared with the addition of microsilica in ED-20, which shows the prospects of using microsilica as a filler in composite materials.

Keywords: filler, microsilica, epoxy resin, composite material, impact strength, tensile modulus.

References

- Sun, W., Xu, X., Lv, Z., Mao, H., Wu, J. (2019). Environmental impact assessment of wastewater discharge with multi-pollutants from iron and steel industry. *Journal of Environmental Management*, 245, 210–215. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.05.081>
- Doifode, S., Matani, A. G. (2015). Effective industrial waste utilization technologies towards cleaner environment. *International Journal of Chemical and Physical Sciences*, 4, 536–540.
- Andrzejuk, W., Barnat-Hunek, D., Góra, J. (2019). Physical Properties of Mineral and Recycled Aggregates Used to Mineral-Asphalt Mixtures. *Materials*, 12 (20), 3437. doi: <https://doi.org/10.3390/ma12203437>
- Gil, D. M., Golewski, G. L. (2018). Potential of siliceous fly ash and silica fume as a substitute for binder in cementitious concretes. *E3S Web of Conferences*, 49, 00030. doi: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20184900030>
- Wan, J., Li, C., Bu, Z.-Y., Xu, C.-J., Li, B.-G., Fan, H. (2012). A comparative study of epoxy resin cured with a linear diamine and a branched polyamine. *Chemical Engineering Journal*, 188, 160–172. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2012.01.134>
- Gómez-del Río, T., Rodríguez, J., Pearson, R. A. (2014). Compressive properties of nanoparticle modified epoxy resin at different strain rates. *Composites Part B: Engineering*, 57, 173–179. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2013.10.002>
- Sukanto, H., Raharjo, W. W., Ariawan, D., Triyono, J., Kaavesina, M. (2021). Epoxy resins thermosetting for mechanical engineering. *Open Engineering*, 11 (1), 797–814. <https://doi.org/10.1515/eng-2021-0078>
- Unnikrishnan, K. P., Thachil, E. T. (2006). Toughening of epoxy resins. *Designed Monomers and Polymers*, 9 (2), 129–152. doi: <https://doi.org/10.1163/156855506776382664>
- Lou, C., Liu, X. (2018). Functional dendritic curing agent for epoxy resin: Processing, mechanical performance and curing/toughening mechanism. *Composites Part B: Engineering*, 136, 20–27. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2017.09.073>
- Sun, Z., Xu, L., Chen, Z., Wang, Y., Tusiime, R., Cheng, C. et al. (2019). Enhancing the Mechanical and Thermal Properties of Epoxy Resin via Blending with Thermoplastic Polysulfone. *Polymers*, 11 (3), 461. doi: <https://doi.org/10.3390/polym11030461>
- Fernández Zapico, G., Ohtake, N., Akasaka, H., Munoz-Guijosa, J. M. (2019). Epoxy toughening through high pressure and shear rate pre-processing. *Scientific Reports*, 9 (1). doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-53881-0>
- Farooq, U., Teuwen, J., Dransfeld, C. (2020). Toughening of Epoxy Systems with Interpenetrating Polymer Network (IPN): A Review. *Polymers*, 12 (9), 1908. doi: <https://doi.org/10.3390/polym12091908>
- Panthakkal Abdul Muthalif, M., Choe, Y. (2022). Adhesive and Impact-Peel Strength Improvement of Epoxy Resins Modified with Mono and Diamine Functionalized Elastomers. *Advances in Polymer Technology*, 2022, 1–9. doi: <https://doi.org/10.1155/2022/2309235>
- Sprenger, S. (2013). Epoxy resins modified with elastomers and surface-modified silica nanoparticles. *Polymer*, 54 (18), 4790–4797. doi: <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2013.06.011>
- Shafaamri, A., Cheng, C. H., Winnie Ma, I. A., Baig, S. B., Kasi, R., Subramaniam, R., Balakrishnan, V. (2020). Effects of TiO₂ Nanoparticles on the Overall Performance and Corrosion Protection Ability of Neat Epoxy and PDMS Modified Epoxy Coating Systems. *Frontiers in Materials*, 6. doi: <https://doi.org/10.3389/fmats.2019.00336>
- Majeed, A. H. (2018). Enforcement of Epoxy with Silica Fume and Carbon Fiber. *Tikrit Journal of Engineering Sciences*, 25 (1), 74–77. doi: <https://doi.org/10.25130/tjes.25.1.11>
- Tkach, E. V., Temirkanov, R. I., Tkach, S. A. (2021). A comprehensive study of modified concrete based on activated silica in conjunction with micro-reinforcing fiber to improve performance. *Izvestiya Tomsk Polytechnic University. Georesource engineering*, 332 (5), 215–226.
- Szewczak, A., Szeląg, M. (2020). Physico-Mechanical and Rheological Properties of Epoxy Adhesives Modified by Microsilica and Sonication Process. *Materials*, 13 (23), 5310. doi: <https://doi.org/10.3390/ma13235310>
- Massana, J., Reyes, E., Bernal, J., León, N., Sánchez-Espinosa, E. (2018). Influence of nano- and micro-silica additions on the durability of a high-performance self-compacting concrete. *Construction and Building Materials*, 165, 93–103. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.12.100>
- Kononova, O. V., Smirnov, A. O. (2017). Investigation of the features of the formation of the strength of quasi-self-compacting concrete with silica. *Fundamental Research*, 7, 327–331.
- Mohammad Nejad, S., Srivastava, R., Bellussi, F. M., Chávez Thielemann, H., Asinari, P., Fasano, M. (2021). Nanoscale thermal properties of carbon nanotubes/epoxy composites by atomistic simulations. *International Journal of Thermal Sciences*, 159, 106588. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2020.106588>
- Wu, S., Peng, S., Wang, C. (2018). Multifunctional Polymer Nanocomposites Reinforced by Aligned Carbon Nanomaterials. *Polymers*, 10 (5), 542. doi: <https://doi.org/10.3390/polym10050542>
- Serekpayeva, M. A., Kokayeva, G. A., Niyazbekova, R. K., Kardymbai, S. (2021). Investigation of the properties of composite materials based on epoxy resins with microsilica additives. *Kompleksnoe*

Ispol'zovanie Mineral'nogo Syr'a/Complex Use of Mineral Resources/Mineraldik Shikisattardy Keshendi Paidalanu, 318 (3), 63–70. doi: <https://doi.org/10.31643/2021/6445.29>

24. Meirbekov, M. N., Ismailov, M. B. (2020). The effect of rubber on the mechanical properties of epoxy and carbon fiber (Review). Kompleksnoe Ispol'zovanie Mineral'nogo Syr'a/Complex Use of Mineral Resources/Mineraldik Shikisattardy Keshendi Paidalanu, 312 (1), 11–21. doi: <https://doi.org/10.31643/2020/6445.02>
25. Mostovoy, A. S., Kadykova, Y. A., Bekeshev, A. Z., Tastanova, L. K. (2018). Epoxy composites modified with microfibers of potassium polytitanates. Journal of Applied Polymer Science, 135 (35), 46651. doi: <https://doi.org/10.1002/app.46651>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.286199

IDENTIFYING OF CHEMICAL COMPOSITION CHANGES DURING THE CARBURIZING PROCESS OF CARBON STEEL UNDER TENSION (p. 26–36)

Nitha

Hasanuddin University, Romang Lompaa, Bontomarannu District, Gowa Regency, South Sulawesi, Indonesia
 Indonesian Christian Toraja University, Bombongan, Makale District, Tana Toraja Regency, South Sulawesi, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9963-5190>

Lukmanul Hakim Arma

Hasanuddin University, Romang Lompaa, Bontomarannu District, Gowa Regency, South Sulawesi, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-2502-4191>

Onny S. Sutresman

Hasanuddin University, Romang Lompaa, Bontomarannu District, Gowa Regency, South Sulawesi, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4451-5634>

Ahmad Yusran Aminy

Hasanuddin University, Romang Lompaa, Bontomarannu District, Gowa Regency, South Sulawesi, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0712-7675>

Carburizing is a commonly employed technique used to improve carbon steel's surface characteristics, specifically its hardness and ability to resist wear. The introduction of tension during the carburizing process adds complexities that affect the distribution of elements in the material. The research methodology includes subjecting carbon steel samples to carburizing temperatures and applying tensile stress. This approach allows for analyzing the effects of carburization and stress on the carbon steel samples. The focus of the investigation was to analyze the use of the pack carburizing technique at lower temperatures, specifically 700 °C and 750 °C, while also applying proportional-voltage tensile stresses. The study focuses on conducting a comprehensive analysis of changes in the chemical composition throughout the cross-section of the material. Advanced analytical techniques perform mapping and elemental spectrum analysis, such as scanning electron microscopy (SEM) and energy-dispersive spectroscopy (EDS). These techniques enable a thorough investigation of the distribution and composition of elements such as carbon, iron, silicon, magnesium, and phosphorus. According to the research findings, carbon elements were added within the temperature range of 700 °C to 750 °C during the carburization process. The carbon content in the material increased from 0.15 % in its unprocessed state to 0.73 % at a temperature of 700 °C, followed by a further increase to 1.26 % at a temperature of 750 °C. According to the study, it was found that applying tensile loads and reducing carburizing temperatures can enhance the carburizing process and

result in higher carbon steel content. This can bring about cost savings and improve overall industrial efficiency.

Keywords: carbon steel, load tensile, carburizing, chemical composition, scanning electron microscopy.

References

- Riastuti, R., Mashanafie, G., Rizkia, V., Maksun, A., Prifiharni, S., Kaban, A. et al. (2022). Effect of syzygium cumini leaf extract as a green corrosion inhibitor on API 5l carbon steel in 1M HCL. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6 (6 (120)), 30–41. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.267232>
- Lan, L., Yu, M., Qiu, C. (2019). On the local mechanical properties of isothermally transformed bainite in low carbon steel. Materials Science and Engineering: A, 742, 442–450. doi: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2018.11.011>
- Boumerzoug, Z., Derfouf, C., Baudin, T. (2010). Effect of Welding on Microstructure and Mechanical Properties of an Industrial Low Carbon Steel. Engineering, 02 (07), 502–506. doi: <https://doi.org/10.4236/eng.2010.27066>
- Putra Negara, D. N. K., Tirta Nindhia, T. G., Suratna, I. W., Sucipta, M. (2017). Chemical, strength and microstructure characterization of Balinese bamboos as activated carbon source for adsorbed natural gas application. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 201, 012033. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/201/1/012033>
- Bontong, Y., Nitha, H. A., Syam, R., Arsyad, H., Asmal, H. S. (2018). Behavior of pack carburizing with bone buffalo charcoal and BaCO₃ against mechanical properties of low carbon steel. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 13 (14), 4309–4316. Available at: https://www.academia.edu/42713028/BEHAVIOR_OF_PACK_CARBURIZING_WITH_BONE_BUFFALO_CHARCOAL_AND_BACO3_AGAINST_MECHANICAL_PROPERTIES_OF_LOW_CARBON_STEEL
- Ashby, M. F., Jones, D. R. H. (2012). Engineering materials 1: an introduction to properties, applications and design. Elsevier. doi: <https://doi.org/10.1016/c2009-0-64288-4>
- Dragatsis, A., Fragkos-Livanios, L., Papageorgiou, D. G., Medrea, C. (2021). Investigation of hardness behavior after carburizing and hardening of 15CrNi6 steel. MATEC Web of Conferences, 349, 02006. doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/202134902006>
- Zhang, X., Zhang, G., Zhang, D., Zhang, L., Qian, F. (2023). Dynamic Multi-Objective Optimization in Brazier-Type Gasification and Carbonization Furnace. Materials, 16 (3), 1164. doi: <https://doi.org/10.3390/ma16031164>
- Sinarep, S., Darmo, S. (2021). Effect of pack carburizing with chicken egg shell powder agent and vibrator quenching on the mechanical properties of AISI 9310 steel. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6 (12 (114)), 12–19. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.244118>
- Putra Negara, D. N. K., Muku, I. D. M. K., Sugita, I. K. G., Astika, I. M., Mustika, I. W., Prasetya, D. G. R. (2015). Hardness Distribution and Effective Case Depth of Low Carbon Steel after Pack Carburizing Process under Different Carburizer. Applied Mechanics and Materials, 776, 201–207. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.776.201>
- Subbiah, R., Vinod Kumar, V., Lakshmi Prasanna, G. (2020). Wear analysis of treated Duplex Stainless Steel material by carburizing process – A review. Materials Today: Proceedings, 26, 2946–2952. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.608>
- Han, R. D., Hu, K. H., Rolfe, B., Pavlina, E. (2016). A Research on Selective Carburization Process of Low Carbon Steel. Advanced High Strength Steel and Press Hardening. doi: https://doi.org/10.1142/9789813140622_0012

13. Abdulrazzaq, M. A. (2016). Investigation the mechanical properties of carburized low carbon steel. *Int. Journal of Engineering Research and Application*, 6 (9), 59–65. Available at: https://www.academia.edu/28504474/Investigation_The_Mechanical_Properties_of_Carburized_Low_Carbon_Steel
14. Ngafwan, Anggonor, A. D., Pramanda, W., Purnomo (2021). The Influence of Carbon Particle Size in The Carburizing Process of ST-40 Steel to The Surface Hardness. *Journal of Physics: Conference Series*, 1858 (1), 012026. doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1858/1/012026>
15. Satito, A., Hariyanto, H., Supandi, S. (2021). Biaxial pressure pack carburizing method to modification local low carbon steel's mechanical properties. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1108 (1), 012036. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1108/1/012036>
16. Priadi, D., Setyadi, I., Siradj, E. (2010). Influence of Strain Rate and Temperature of Hot Tension Testing on Mechanical Properties of Medium Carbon Steel S48C. *Makara Journal of Technology*, 7 (1). doi: <https://doi.org/10.7454/mst.v7i1.137>
17. Jiang, Y., Li, Y., Peng, Y., Gong, J. (2020). Mechanical properties and cracking behavior of low-temperature gaseous carburized austenitic stainless steel. *Surface and Coatings Technology*, 403, 126343. doi: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2020.126343>
18. Priyadarshini, S., Sharma, T., Arora, G. (2014). Effect of Post Carburizing Treatment on Hardness of Low Carbon Steel. *Int. J. Adv. Mech. Eng*, 4 (7), 763–766. Available at: https://www.ripublication.com/ijame-spl/ijamev4n7spl_07.pdf
19. Smallman, R. E., Bishop, R. J. (1999). *Modern physical metallurgy and materials engineering*. Butterworth-Heinemann. doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-7506-4564-5.x5000-9>
20. Callister Jr, W. D., Rethwisch, D. G. (2007). *Materials science and engineering an introduction*. Wiley.
21. Oyetunji, A., Adeosun, S. O. (2021). Effects of Carburizing Process Variables on Mechanical and Chemical Properties of Carburized Mild Steel. *Journal of Basic & Applied Sciences*, 8 (2), 319–324. doi: <https://doi.org/10.6000/1927-5129.2012.08.02.11>
22. Elzanaty, H. (2014). Effect of carburization on the mechanical properties of the mild steel. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 6 (4), 987–994. Available at: <https://www.issr-journals.org/xplore/ijias/0006/004/IJIAS-14-153-05.pdf>
23. Wei, S., Wang, G., Zhao, X., Zhang, X., Rong, Y. (2013). Experimental Study on Vacuum Carburizing Process for Low-Carbon Alloy Steel. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 23 (2), 545–550. doi: <https://doi.org/10.1007/s11665-013-0762-1>
24. Yao, J., Zhang, Q., Gao, M., Zhang, W. (2008). Microstructure and wear property of carbon nanotube carburizing carbon steel by laser surface remelting. *Applied Surface Science*, 254 (21), 7092–7097. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2008.05.223>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.285192

IDENTIFYING THE INFLUENCE OF TRANSIENT THERMAL TENSIONING TREATMENTS ON MINIMIZING DISTORTION AND IMPROVING FATIGUE BEHAVIOR OF STEEL WELDED (p. 37–46)

Heri Wibowo

Yogyakarta State University, Yogyakarta, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3549-523X>

Fredy Surahmanto

Yogyakarta State University, Yogyakarta, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2148-1152>

Mochammad Noer Ilman

Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4398-7872>

Due to the cost efficiency of welding repairs, the use of transient thermal tensioning (TTT) has begun to be applied to minimize distortion and residual stresses, particularly on thin plates. However, it requires a long preheating time especially on large structures, so that the efficiency of welding process cannot be maximized. Application of TTT treatment using flame heater on TTT treatment which require no preheating time so that welding efficiency can be increased. The aims of this study are to investigate the TTT treatment in reducing distortion, investigate the effect of TTT treatment on tensile strength and hardness, investigate the microstructure and its effect on tensile strength and hardness, investigated the effect of TTT treatment on fatigue crack growth rate. In this research, TTT treatment was performed by flame heating on the both side of weld line integrated in welding process. Temperature in both side plates were controlled and measured using thermocouple. The tests on the weld joints were carried out including distortion measurement, microstructure examination, hardness measurement, tensile test and fatigue test. Results showed that the TTT (–60) treatment is the most effective in decreasing the longitudinal distortion which placing the flame heating a 60 mm behind welding torch. It tends to increase the tensile strength of weld metal supported by its increasing hardness. The increase in the percentage of the acicular ferrite phase is linearly related to the tensile strength and hardness of the weld joint. The fatigue behavior could be improved by TTT treatment (–60) which is associated with the effect of decreasing residual stress in the weld metal region. This treatment is the best parameter in an effort to increase the welding efficiency of the TTT method.

Keywords: TTT treatment, distortion, fatigue behavior, flame heating, welding efficiency, welding process, steel welded, thin plates, microstructure, tensile strength.

References

1. Zhou, Q., Wang, Y., Choi, S.-K., Cao, L., Gao, Z. (2018). Robust optimization for reducing welding-induced angular distortion in fiber laser keyhole welding under process parameter uncertainty. *Applied Thermal Engineering*, 129, 893–906. doi: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.10.081>
2. Subeki, N., Jamasri, Ilman, M. N., Iswanto, P. T. (2017). The effect of heating temperature in static thermal tensioning (STT) welding on mechanical properties and fatigue crack propagation rate of FCAW in steel A 36. *AIP Conference Proceedings*. doi: <https://doi.org/10.1063/1.4968310>
3. Triyono, Sukanto, H., Muhayat, N., Sutiyono (2014). Effect of Stretching during Welding Process on the Weldability of Dissimilar Metals Resistance Spot Welded between Carbon Steel and Low Nickel Stainless Steel. *Advanced Materials Research*, 894, 206–211. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.894.206>
4. Xu, J., Chen, L., Ni, C. (2007). Effect of vibratory weld conditioning on the residual stresses and distortion in multipass girth-butt welded pipes. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 84 (5), 298–303. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpvp.2006.11.004>
5. Singh, P. K., Patel, D., Prasad, S. B. (2016). Optimization of process parameters during vibratory welding technique using Taguchi's analysis. *Perspectives in Science*, 8, 399–402. doi: <https://doi.org/10.1016/j.pisc.2016.04.088>
6. Peng, K., Yang, C., Fan, C., Lin, S. (2018). Microstructure and mechanical properties of simulated unaltered coarse grained heat affected zones of 10CrNi3MoV steel by double-sided double arc welding. *Journal of Materials Processing Technology*, 251, 225–231. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2017.08.032>
7. Takwim, R. N. A., Purwoko, P., Pranoto, B. (2021). Effect of Temperature Variation of Static Thermal Tensioning on Angular Distortion and Sensitization behavior of GMAW Welded SUS 304 Stainless

- Steel Plate. *Logic: Jurnal Rancang Bangun Dan Teknologi*, 21 (3), 218–224. doi: <https://doi.org/10.31940/logic.v21i3.218-224>
8. Ilman, M. N., Sehono, Muslih, M. R., Wibowo, H. (2020). The application of transient thermal tensioning for improving fatigue crack growth resistance of AA5083-H116 FSW joints by varying secondary heating temperature. *International Journal of Fatigue*, 133, 105464. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2019.105464>
 9. Souto, J., Ares, E., Alegre, P. (2015). Procedure in Reduction of Distortion in Welding Process by High Temperature Thermal Transient Tensioning. *Procedia Engineering*, 132, 732–739. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.12.554>
 10. Michaleris, P. (2011). Introduction to welding residual stress and distortion. *Minimization of Welding Distortion and Buckling*, 3–22. doi: <https://doi.org/10.1533/9780857092908.1.3>
 11. Tra, T. H., Okazaki, M., Suzuki, K. (2012). Fatigue crack propagation behavior in friction stir welding of AA6063-T5: Roles of residual stress and microstructure. *International Journal of Fatigue*, 43, 23–29. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2012.02.003>
 12. Zhang, Y., Ying, Y., Liu, X., Wei, H. (2016). Deformation control during the laser welding of a Ti₆Al₄V thin plate using a synchronous gas cooling method. *Materials & Design*, 90, 931–941. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2015.11.035>
 13. Pazooki, A. M. A., Hermans, M. J. M., Richardson, I. M. (2016). Finite element simulation and experimental investigation of thermal tensioning during welding of DP600 steel. *Science and Technology of Welding and Joining*, 22 (1), 7–21. doi: <https://doi.org/10.1080/13621718.2016.1180861>
 14. Yi, B., Wang, J. (2022). Influence of Location of Transient Thermal Tensioning on Mitigating Buckling Distortion During Thin Plates Fillet Welding. The 32nd International Ocean and Polar Engineering Conference. Available at: http://publications.iso.org/proceedings/ISOPE/ISOPE%202022/data/pdfs_Vol4/414-TPC-0232.pdf
 15. Deo, M. V., Michaleris, P. (2003). Mitigation of welding induced buckling distortion using transient thermal tensioning. *Science and Technology of Welding and Joining*, 8 (1), 49–54. doi: <https://doi.org/10.1179/136217103225008919>
 16. Yang, Y. P., Dong, P. (2011). Buckling Distortions and Mitigation Techniques for Thin-Section Structures. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 21 (2), 153–160. doi: <https://doi.org/10.1007/s11665-011-9928-x>
 17. Liu, Y., Ma, N., Lu, F., Fang, H. (2021). Measurement and analysis of welding deformation in arc welded lap joints of thin steel sheets with different material properties. *Journal of Manufacturing Processes*, 61, 507–517. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2020.11.038>
 18. Fahlström, K., Andersson, O., Karlsson, L., Svensson, L.-E. (2017). Metallurgical effects and distortions in laser welding of thin sheet steels with variations in strength. *Science and Technology of Welding and Joining*, 22 (7), 573–579. doi: <https://doi.org/10.1080/13621718.2016.1275483>
 19. Wen, Q., Ji, S., Zhang, L., Yue, Y., Lv, Z. (2018). Temperature, Stress and Distortion of Ti–6Al–4V Alloy Low-Temperature Friction Stir Welding Assisted by Trailing Intensive Cooling. *Transactions of the Indian Institute of Metals*, 71 (12), 3003–3009. doi: <https://doi.org/10.1007/s12666-018-1401-1>
 20. Li, J., Guan, Q., Shi, Y., Guo, D., Du, Y., Sun, Y. (2004). Studies on characteristics of temperature field during GTAW with a trailing heat sink for titanium sheet. *Journal of Materials Processing Technology*, 147 (3), 328–335. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2003.12.012>
 21. Ji, S., Yang, Z., Wen, Q., Yue, Y., Zhang, L. (2018). Effect of Trailing Intensive Cooling on Residual Stress and Welding Distortion of Friction Stir Welded 2060 Al-Li Alloy. *High Temperature Materials and Processes*, 37 (5), 397–403. doi: <https://doi.org/10.1515/htmp-2016-0217>
 22. Wibowo, H., Ilman, M. N., Iswanto, P. T., Muslih, M. R. (2017). Control of Distortion by Combined Effect of DC-LSND and TTT in MIG Weld Joints and Its Effect on Residual Stress and Fatigue Behavior. *International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering*, 17 (06).
 23. Smallman, R. E., Bishop, R. J. (1999). *Modern Physical Metallurgy and Materials Engineering*. Butterworth-Heinemann. doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-7506-4564-5.x5000-9>
 24. Digheche, K., Boumerzoug, Z., Diafi, M., Saadi, K. (2017). Influence of heat treatments on the microstructure of welded API X70 pipeline steel. *Acta Metallurgica Slovaca*, 23 (1), 72–78. doi: <https://doi.org/10.12776/ams.v23i1.879>
 25. Fattahi, M., Nabhani, N., Hosseini, M., Arabian, N., Rahimi, E. (2013). Effect of Ti-containing inclusions on the nucleation of acicular ferrite and mechanical properties of multipass weld metals. *Micron*, 45, 107–114. doi: <https://doi.org/10.1016/j.micron.2012.11.004>
 26. Nako, H., Miyamoto, G., Zhang, Y., Furuhashi, T. (2022). Influence of Acicular Ferrite Microstructure on Toughness of Ti-Rare Earth Metal (REM)-Zr Killed Steel. *Tetsu-to-Hagane*, 108 (5), 295–305. doi: <https://doi.org/10.2355/tetsuohagane.tetsu-2021-127>
 27. Dhib, Z., Guermazi, N., Gaspérini, M., Haddar, N. (2016). Cladding of low-carbon steel to austenitic stainless steel by hot-roll bonding: Microstructure and mechanical properties before and after welding. *Materials Science and Engineering: A*, 656, 130–141. doi: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2015.12.088>
 28. Sun, Q., Di, H.-S., Li, J.-C., Wu, B.-Q., Misra, R. D. K. (2016). A comparative study of the microstructure and properties of 800 MPa microalloyed C-Mn steel welded joints by laser and gas metal arc welding. *Materials Science and Engineering: A*, 669, 150–158. doi: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2016.05.079>
 29. D'Urso, G., Giardini, C., Lorenzi, S., Pastore, T. (2014). Fatigue crack growth in the welding nugget of FSW joints of a 6060 aluminum alloy. *Journal of Materials Processing Technology*, 214 (10), 2075–2084. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2014.01.013>
 30. Kumar, M., Bhadauria, S. S., Sharma, V. (2022). Effect of tool pin profiles on fatigue crack growth rate of friction stir welded joint of Al alloy 7075-T651. *Canadian Metallurgical Quarterly*, 1–10. doi: <https://doi.org/10.1080/00084433.2022.2160574>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.286198

COMPARISON OF CHEMICAL COMPOSITION AND WEAR OF IRON AND NICKEL ALUMINIDE COATINGS APPLIED BY PLASMA SPRAYING (p. 47–55)

Igor Smirnov

National Technical University of Ukraine

“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1818-7403>

Andrii Chorny

National Technical University of Ukraine

“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7424-0264>

Volodymyr Lysak

National Technical University of Ukraine

“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6565-2793>

Nikolay Dolgov

G. S. Pisarenko Institute for Problems of Strength

of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3962-7551>

Ihor Sieliverstov

Kherson National Technical University, Khmelnytskyi, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-6135-8165>

Kostiantyn Parshenko

Khmelnyskyi National University, Khmelnytskyi, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6379-3587>

Given such properties as wear resistance, corrosion resistance, heat resistance, contact and cyclic strength, iron and nickel aluminides can be used as coatings in friction pairs for various purposes. The object of research is the process of obtaining plasma-sprayed coatings from powders based on iron and nickel aluminides. The task of research is the determination and comparison of the structure, chemical composition, and wear resistance of coatings from powders of iron aluminide and nickel aluminide, obtained by the method of atmospheric plasma spraying. To reduce the oxidation of powders during spraying, the conditions for generating a laminar plasma jet were created. Such conditions were provided by the specially developed structure of the electric arc plasma gun and the operating parameters of coating spraying. As a result of the correct choice of spraying modes, completely melted splats were formed during the collision of powder particles with the surface. The resulting coatings had a layered microstructure with microcracks and peeling. The porosity and characteristics of the delamination of the coatings depend on both the modes and the spraying technology. Tribological tests of the coatings were carried out under conditions of dry metal-on-metal sliding friction in a pair with high-speed steel. It is shown that the wear of nickel aluminide coatings under these conditions is 2–2.5 times lower than that of iron aluminide coatings. The coefficient of friction of iron aluminide coatings is slightly lower than that of nickel aluminide coatings. The wear of samples made of 30CrMnSi steel is 3–4 times higher than samples with coatings. The difference in the wear of the coatings is explained by the more intense oxidation of iron aluminide in the friction process. Conclusions were drawn regarding the possibility of using the investigated coatings in various friction pairs of structural elements, in particular in the automotive industry.

Keywords: iron aluminide, nickel aluminide, plasma spraying of coatings, dry friction.

References

- Chen, H., Fan, M., Zhu, W., Norton, A. D. (2020). High temperature oxidation behaviour of combustion flame sprayed CoNiCrAlY coatings. *Surface and Coatings Technology*, 385, 125431. doi: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2020.125431>
- Rachidi, R., El Kihel, B., Delaunois, F. (2019). Microstructure and mechanical characterization of NiCrBSi alloy and NiCrBSi-WC composite coatings produced by flame spraying. *Materials Science and Engineering: B*, 241, 13–21. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mseb.2019.02.002>
- Grigoriev, O. N., Shvets, V. A., Podchernyaeva, I. A., Yurechko, D. V., Vedel, D. V., Zubarev, A. A. et al. (2020). Electrochemical Corrosion of Composite Ceramics and Thermal Spray Coatings in the ZrB₂-SiC-AlN System. *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*, 59 (7-8), 394–400. doi: <https://doi.org/10.1007/s11106-020-00173-2>
- Lyashenko, B. A., Veremchuk, V. S., Dolgov, N. A., Ivanov, V. M. (1996). Strength and deformation properties of compositions with plasma-sprayed coatings. *Strength of Materials*, 28 (6), 452–454. doi: <https://doi.org/10.1007/bf02209316>
- Zhang, H., Chen, X., Gong, Y., Tian, Y., McDonald, A., Li, H. (2020). In-situ SEM observations of ultrasonic cavitation erosion behavior of HVOF-sprayed coatings. *Ultrasonics Sonochemistry*, 60, 104760. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.104760>
- Raza, A., Ahmad, F., Badri, T. M., Raza, M. R., Malik, K. (2022). An Influence of Oxygen Flow Rate and Spray Distance on the Porosity of HVOF Coating and Its Effects on Corrosion—A Review. *Materials*, 15 (18), 6329. doi: <https://doi.org/10.3390/ma15186329>
- Pawlowski, L. (2008). *The Science and Engineering of Thermal Spray Coatings*. John Wiley & Sons. doi: <https://doi.org/10.1002/9780470754085>
- Smyrnov, I. V., Chornyi, A. V., Kopylov, V. I. (2020). Effect of Nanodispersed Ingredients on the Properties of Plasma Coatings. *Metallofizika I Noveishie Tekhnologii*, 42 (6), 797–814. doi: <https://doi.org/10.15407/mfint.42.06.0797>
- Gérard, B. (2006). Application of thermal spraying in the automobile industry. *Surface and Coatings Technology*, 201 (5), 2028–2031. doi: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2006.04.050>
- Gudz, G., Zakhara, I., Voitsikhovska, T., Vytvytskyi, V., Ropyak, L. (2022). Temperature Distribution in Parts of the Vehicle Disk Brake. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, 517–529. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-031-16651-8_49
- Aranke, O., Algenaid, W., Awe, S., Joshi, S. (2019). Coatings for Automotive Gray Cast Iron Brake Discs: A Review. *Coatings*, 9 (9), 552. doi: <https://doi.org/10.3390/coatings9090552>
- Cinca, N., Lima, C. R. C., Guilemany, J. M. (2013). An overview of intermetallics research and application: Status of thermal spray coatings. *Journal of Materials Research and Technology*, 2 (1), 75–86. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2013.03.013>
- Wang, H., An, F., Bai, X., Yao, H., Zhang, M., Chen, Q. et al. (2023). Improvement of Microstructure and Sliding Wear Property of Cold-Sprayed FeAl Intermetallic Compound Coating by Annealing Treatment. *Coatings*, 13 (7), 1260. doi: <https://doi.org/10.3390/coatings13071260>
- Chrostek, T. (2021). Tribological wear of Fe-Al coatings applied by gas detonation spraying. *Technical Sciences*, 24 (1), 245–256. doi: <https://doi.org/10.31648/ts.7129>
- Senderowski, C., Bojar, Z., Wołczyński, W., Pawłowski, A. (2010). Microstructure characterization of D-gun sprayed Fe–Al intermetallic coatings. *Intermetallics*, 18 (7), 1405–1409. doi: <https://doi.org/10.1016/j.intermet.2010.01.015>
- Vijaya Lakshmi, D., Suresh Babu, P., Rama Krishna, L., Vijay, R., Srinivasa Rao, D., Padmanabham, G. (2021). Corrosion and erosion behavior of iron aluminide (FeAl(Cr)) coating deposited by detonation spray technique. *Advanced Powder Technology*, 32 (7), 2192–2201. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apt.2021.04.032>
- Senapati, P., Sutar, H., Murmu, R., Gupta, S. (2022). Slurry Erosion Behaviour of HVOF-Sprayed NiAl Composite Coating. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, 623–629. doi: https://doi.org/10.1007/978-981-16-9057-0_68
- Starosta, R. (2009). Properties of Thermal Spraying Ni-Al Alloy Coatings. *Advances in Materials Sciences*, 9 (1). doi: <https://doi.org/10.2478/v10077-009-0004-2>
- Hawk, J. A., Alman, D. E. (1997). Abrasive wear of intermetallic-based alloys and composites. *Materials Science and Engineering: A*, 239–240, 899–906. doi: [https://doi.org/10.1016/s0921-5093\(97\)00681-3](https://doi.org/10.1016/s0921-5093(97)00681-3)
- Melnik, O. B., Smirnov, I. V., Labunets, V. F., Chorniy, A. V. (2020). Research of wear resistance of plasma coatings in the conditions of abrasive wear. *Problems of Friction and Wear*, 3 (88), 126–131. doi: [https://doi.org/10.18372/0370-2197.3\(88\).14928](https://doi.org/10.18372/0370-2197.3(88).14928)
- Ghosh, G., Korniyenko, K., Velikanova, T., Sidorko, V. (2008). Aluminium – Chromium – Iron. *Landolt-Börnstein - Group IV Physical Chemistry*, 44–87. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-540-69761-9_5
- Thiem, P. G., Chorniy, A., Smirnov, I. V., Krüger, M. (2017). Comparison of microstructure and adhesion strength of plasma, flame and high velocity oxy-fuel sprayed coatings from an iron aluminide powder. *Surface and Coatings Technology*, 324, 498–508. doi: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2017.06.016>
- Neiser, R. A., Smith, M. F., Dykhuizen, R. C. (1998). Oxidation in Wire HVOF-Sprayed Steel. *Journal of Thermal Spray Technology*, 7 (4), 537–545. doi: <https://doi.org/10.1361/105996398770350765>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.285699
WEAR-FRICTION PROPERTIES OF FRICTION PAIRS
IN DISC-PAD BRAKES (p. 56–61)

Myroslav Kindrachuk

National Aviation University, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0529-2466>

Dmytro Volchenko

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,
 Ivano-Frankivsk, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1565-749X>

Nataliia Fidrovskia

Kharkiv National Automobile and Highway University,
 Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5248-273X>

Oleksandr Dukhota

National Aviation University, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8091-1717>

Dmytro Zhuravlev

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,
 Ivano-Frankivsk, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2045-9631>

Mykola Ostashuk

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5816-6818>

Yurii Porokhovskyy

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3616-2795>

Volodymyr Kharchenko

National Aviation University, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6383-5337>

This paper reports data on the dynamic coefficient of friction and wear of materials of different types of friction pads and brake discs obtained from experimental research during braking under bench conditions. It was established that on the basis of the chemical composition of the materials of the friction pads with codes, in the temperature range of 100–450 °C with a step of 50 °C, the ratio of the maximum to the minimum wear of the disc varies from 6.0 to 10.0. The value of the disc wear ratio at 800 and 1000 brakings, respectively, in the temperature range of 100–250 °C and 100–450 °C was 7.6 and 14.0. This indicates that for pad materials of type A, B, C, and D under the second thermal regime, the linear wear of the working surfaces of the discs is greater than under the first thermal regime. And for the pad materials of type E and F, the wear of the discs was the same. This indicates that the use of traditional pads is characterized by a higher thermal tension of the disc brake friction pair; the absolute temperature values are in the unfavorable zone of 400–700 °C. That, in turn, could lead to both phase changes and thermal fatigue aging of materials and, as a result, to

the deterioration of their tribological and thermophysical characteristics in operation. Thus, the implementation of the method of selecting pad components could improve the performance of disc brake devices of cars.

Keywords: disc-pad brake, friction pair, wear and tear, codes of friction materials.

References

- Gudz, G., Zakhara, I., Voitsikhovska, T., Vytvytskyi, V., Ropyak, L. (2022). Temperature Distribution in Parts of the Vehicle Disk Brake. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, 517–529. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-031-16651-8_49
- Nosko, A. L., Tarasiuk, W., Sharifullin, I. A., Safronov, E. V. (2020). Tribotechnical and Ecological Evaluation of Friction Pairs of Brake Devices in Lifting and Transport Machines. *Journal of Friction and Wear*, 41 (4), 347–353. doi: <https://doi.org/10.3103/s106836662004008x>
- Cravero, C., Marsano, D. (2022). Flow and Thermal Analysis of a Racing Car Braking System. *Energies*, 15 (8), 2934. doi: <https://doi.org/10.3390/en15082934>
- Volchenko, D., Skripnik, V., Zhuravlev, D., Savchyn, Y., Savchyn, M. (2022). Non-uniform Nanocapillary Fluid Cooling of the Drawworks' Band-Shoe Brake Friction Couples. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, 584–593. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-031-16651-8_55
- Ahmadijokani, F., Shojaei, A., Arjmand, M., Alaei, Y., Yan, N. (2019). Effect of short carbon fiber on thermal, mechanical and tribological behavior of phenolic-based brake friction materials. *Composites Part B: Engineering*, 168, 98–105. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.12.038>
- Afzal, A., Abdul Mujeebu, M. (2018). Thermo-Mechanical and Structural Performances of Automobile Disc Brakes: A Review of Numerical and Experimental Studies. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 26 (5), 1489–1513. doi: <https://doi.org/10.1007/s11831-018-9279-y>
- Zhang, S., Hao, Q., Liu, Y., Jin, L., Ma, F., Sha, Z., Yang, D. (2019). Simulation Study on Friction and Wear Law of Brake Pad in High-Power Disc Brake. *Mathematical Problems in Engineering*, 2019, 1–15. doi: <https://doi.org/10.1155/2019/6250694>
- Kernyskyy, I., Volchenko, A., Szlachetka, O., Horbay, O., Skrypnyk, V., Zhuravlev, D. et al. (2022). Complex Heat Exchange in Friction Steam of Brakes. *Energies*, 15 (19), 7412. doi: <https://doi.org/10.3390/en15197412>
- Volchenko, N., Volchenko, A., Volchenko, D., Poliakov, P., Malyk, V., Zhuravliov, D. et al. (2019). Features of the estimation of the intensity of heat exchange in self-ventilated disk-shoe brakes of vehicles. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (5 (97)), 47–53. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.154712>
- Jiregna, I. T., Lemu, H. G. (2021). Thermal stress analysis of disc brake using analytical and numerical methods. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1201 (1), 012033. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1201/1/012033>

АНОТАЦІЇ
MATERIALS SCIENCE

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.281807

АНАЛІЗ СТІЙКОСТІ ГІБРИДНОГО КОМПОЗИТНОГО КЕРАМІЧНОГО ПОКРИТТЯ НА ОСНОВІ КАЛІМАНТАНСЬКОГО ЦИРКОНУ ДО ТЕПЛООВОГО УДАРУ ТА ЗАБРУДНЕННЯ В УМОВАХ КОТЛА (с. 6–17)

Yulinda Lestari, Anne Zulfia, Muhammad Ardin, Septian Adi Chandra, Fauzi Widyawati, Efendi Maburri

Котли електростанцій працюють при відносно високих температурах і тиску. Оскільки вони схильні до руйнування матеріалу, забруднення та утворення накипу, використовувани матеріали повинні мати хорошу термічну та хімічну стійкість. Матеріал покриття є одним з рішень існуючих проблем у котлах. У дослідженні в якості основного матеріалу покриття використовувалися місцеві мінеральні ресурси, а саме калімантанський цирконовий пісок і цирконій, очищений від цирконієвого піску. Крім того, в якості посилення покриття додається наповнювач, завдяки чому поліпшуються властивості покриття. Змінними у даному дослідженні є варіанти матеріалів наповнювачів, що володіють змащувальними властивостями, такі як hBN, MoS₂, графіт і суміш трьох наповнювачів (гібридний). Використований метод нанесення покриття полягає у розпиленні суспензії з подальшим спіканням при температурі 600 °С. Основними проведеними випробуваннями параметрів покриття були стійкість до теплового удару і забруднення. За результатами досліджень було встановлено, що очищення цирконового піску призвело до збільшення вмісту цирконію з 59 % до 68 %. За результатами випробувань на стійкість до теплового удару і забруднення було встановлено, що покриття з очищеним цирконом має кращу термостійкість, в той час як стійкість до забруднення істотно не відрізняється від неочищеного цирконового піску. Таким чином, необхідно розробити спосіб очищення циркону для отримання більш високого вмісту ZrO₂. Що стосується різновидів наповнювача, то гібридний наповнювач забезпечує покриття з кращою стійкістю до теплового удару і забруднення, що дозволяє використовувати його для оптимізації керамічних композитних покриттів.

Ключові слова: керамічне покриття з циркону, керамічне покриття з очищеного циркону, мастило, розпилення суспензії, тепловий удар, стійкість до забруднення.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.280474

ВИКОРИСТАННЯ МІКРОКРЕМНЕЗЕМУ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ КОМПОЗИТНОГО МАТЕРІАЛУ НА ОСНОВІ ЕПОКСИДУ (с. 18–25)

Gulnara Kokayeva, Rimma Niyazbekova, Mira Serepayeva, Ainur Ibzhanova, Amirbek Bekeshev

Утилізація промислових відходів та вторинної сировини, зокрема, у виробництві металевого кремнію та кремнійвмісних сплавів, до складу яких входять пари кремнезему (мікрокремнезему), є основним завданням реалізації екологічної політики та вирішує проблему їх зберігання та негативного впливу на навколишнє середовище для щоб повторно використовувати їх у полімерних композитах. Використання мікрокремнезему як наповнювача в композиційних матеріалах на основі епоксидних смол сприяє позитивному впливу на основні властивості смоли, а також дає можливість використовувати композиційний матеріал в якості покриттів і деталей при ремонті машин і обладнання. Метою роботи було встановлення позитивного впливу мікрокремнезему як наповнювача композиційних матеріалів на основі епоксидної смоли ЕД-20 на покращення фізико-механічних властивостей композиційних матеріалів. В рамках даної роботи були проведені дослідження композиційних матеріалів на основі епоксидної смоли ЕД-20, що відрізняються різним вмістом наповнювача 2, 5, 10, 15 мас. % на ударну в'язкість, міцність на розрив і модуль пружності, адгезію і ударну в'язкість покриття.

Аналіз отриманих результатів показав позитивний вплив мікрокремнезему як наповнювача в композиційних матеріалах на основі епоксидної смоли ЕД-20 на фізико-механічні властивості композиційного матеріалу. Визначено оптимальний вміст наповнювача, який становить 2 % від маси епоксидної смоли ЕД-20, при цьому збільшення адгезії, в'язкості композиційного матеріалу на 45 %, міцності на розрив і модуля пружності на 21 % і 5 %, відповідно, а міцність покриття на удар на 32 % порівняно з додаванням мікрокремнезему в ЕД-20, що свідчить про перспективність використання мікрокремнезему як наповнювача в композиційних матеріалах.

Ключові слова: наповнювач, мікрокремнезем, епоксидна смола, композиційний матеріал, ударна в'язкість, модуль пружності при розтягуванні.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.286199

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ЗМІНИ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ В ПРОЦЕСІ НАВУГЛЕЦЮВАННЯ ВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛІ ПІД РОЗТЯГОМ (с. 26–36)

Nitha, Lukmanal Hakim Arma, Onny S. Sutresman, Ahmad Yusran Aminy

Навуглецювання – це широко використовуваний метод, який використовується для покращення характеристик поверхні вуглецевої сталі, зокрема її твердості та здатності протистояти зношенню. Введення напруги під час процесу цементації додає складності, які впливають на розподіл елементів у матеріалі. Методологія дослідження включає піддавання зразків вуглецевої

сталі температурам цементації та застосування напруги розтягування. Цей підхід дозволяє аналізувати вплив науглецювання та навантаження на зразки вуглецевої сталі. Дослідження було зосереджено на аналізі використання технології пакетного цементування при нижчих температурах, зокрема 700 °C і 750 °C, одночасно застосовуючи напруги розтягування пропорційної напруги. Дослідження спрямоване на проведення всебічного аналізу змін хімічного складу по всьому поперечному перерізу матеріалу. Передові аналітичні методи виконують картування та аналіз елементного спектру, такі як скануюча електронна мікроскопія і енергодисперсійна спектроскопія. Ці методи дозволяють ретельно досліджувати розподіл і склад таких елементів, як вуглець, залізо, кремній, магній і фосфор. Згідно з результатами дослідження, вуглецеві елементи додавалися в діапазоні температур від 700 °C до 750 °C під час процесу науглецювання. Вміст вуглецю в матеріалі збільшився з 0,15 % у необробленому стані до 0,73 % при температурі 700 °C, з подальшим збільшенням до 1,26 % при температурі 750 °C. Відповідно до дослідження було виявлено, що застосування розтягуючих навантажень і зниження температури науглецювання можуть покращити процес науглецювання та призвести до підвищення вмісту вуглецевої сталі. Це може призвести до економії коштів і підвищення загальної ефективності виробництва.

Ключові слова: вуглецева сталь, навантажувальний розтяг, цементація, хімічний склад, скануюча електронна мікроскопія.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.285192

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ПЕРЕХОДНИХ ТЕРМІЧНИХ ОБРОБОК НА МІНІМІЗУВАННЯ ДИСТОРЦІЇ ТА ПОКРАЩЕННЯ ВТОМНОЇ ПОВЕДІНКИ СТАЛЕВОГО ЗВАРЮВАННЯ (с. 37–46)

Heri Wibowo, Fredy Surahmanto, M. Noer Ilman

Завдяки економічній ефективності зварювальних ремонтів почали застосовувати перехідне термічне натягування (ПТН), щоб мінімізувати деформацію та залишкові напруги, особливо на тонких пластинах. Однак це вимагає тривалого попереднього нагріву, особливо для великих конструкцій, тому ефективність процесу зварювання не може бути максимально досягнута. Застосування обробки ПТН з використанням полум'яного нагрівача при обробці ПТН, що не потребує попереднього нагрівання, щоб можна було підвищити ефективність зварювання. Цілі цього дослідження полягають у дослідженні обробки ПТН для зменшення викривлення, дослідженні впливу обробки ПТН на міцність і твердість на розрив, дослідженні мікроструктури та її впливу на міцність на розтяг і твердість, дослідженні впливу обробки ПТН на швидкість росту втомної тріщини. У цьому дослідженні обробку ПТН проводили шляхом нагрівання полум'ям з обох боків лінії зварювання, інтегрованої в процес зварювання. Температуру в обох бічних пластинах контролювали та вимірювали за допомогою термопари. Були проведені випробування зварних з'єднань, включаючи вимірювання деформації, дослідження мікроструктури, вимірювання твердості, випробування на розтягування та випробування на втому. Результати показали, що обробка ПТН (–60) є найефективнішою для зменшення подовжнього викривлення, яке розміщує нагрівання полум'я на 60 мм позаду зварювального пальника. Це має тенденцію до підвищення міцності на розрив металу зварного шва за рахунок збільшення його твердості. Збільшення процентного вмісту фази голчастого фериту лінійно залежить від міцності на розрив і твердості зварного з'єднання. Втому поведінку можна покращити за допомогою обробки ПТН (–60), яка пов'язана з ефектом зменшення залишкової напруги в області металу зварного шва. Ця обробка є найкращим параметром для підвищення ефективності зварювання методом ПТН.

Ключові слова: обробка ПТН, деформація, втомна поведінка, полум'яний нагрів, ефективність зварювання, процес зварювання, сталь зварена, тонкі пластини, мікроструктура, міцність на розрив.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.286198

ПОРІВНЯННЯ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ТА ЗНОСУ ПОКРИТТІВ З АЛЮМІНІДІВ ЗАЛІЗА ТА НІКЕЛЮ, ОТРИМАНИХ ПЛАЗМОВИМ НАПИЛЕННЯМ (с. 47–55)

І. В. Смирнов, А. В. Чорний, В. В. Лисак, М. А. Долгов, І. А. Селіверстов, К. А. Паршенко

Алюмініди заліза та нікелю завдяки таким властивостям як зносостійкість, корозійна стійкість, жароміцність, контактна та циклічна міцність можуть бути використані як покриття у парах тертя різноманітного призначення. Об'єктом дослідження є процес отримання плазмово-напиленних покриттів із порошків на основі алюмінідів заліза та нікелю. Проблемаю досліджень є визначення та порівняння структури, хімічного складу та зносостійкості покриттів із порошків інтерметалідів алюмініду заліза та алюмініду нікелю, отриманих методом атмосферного плазмового напилення. Для зменшення окиснення порошків під час напилення були створені умови генерації ламінарного плазмового струменя. Такі умови забезпечували спеціально розроблена конструкція електродугового плазмотрона і режимні параметри напилення покриттів. Внаслідок правильного вибору режимів напилення утворювались повністю розплавлені сплети під час зіткнення частинок порошку з поверхню. Отримані покриття мали шарувату мікроструктуру з мікротріщинами та відшаруваннями. Пористість та особливості відшарування покриттів залежать як від режимів, так і технології напилення. Проведені трибологічні випробування покриттів в умовах сухого тертя ковзання метал по металу в парі зі швидкорізальною сталлю. Показано, що зношення покриттів з алюмініду нікелю в даних умовах нижче, ніж у покриттів з алюмініду заліза в 2–2,5 рази. Коефіцієнт тертя покриттів з алюмініду заліза незначно нижче ніж у покриттів з алюмініду нікелю. Зношення зразків зі сталі 30ХГСА перевищує зразки з покриттями в 3–4 рази. Відмінність у зношенні покриттів пояснюється більш інтенсивним окисненням алюмініду заліза в процесі тертя. Зроблено висновки стосовно можливості використання досліджених покриттів в різноманітних парах тертя елементів конструкцій, зокрема в автомобільній промисловості.

Ключові слова: алюмінід заліза, алюмінід нікелю, плазмове напилення покриттів, сухе тертя.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.285699**ЗНОСО-ФРИКЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ ПАР ТЕРТЯ ДИСКОВО-КОЛОДКОВОГО ГАЛЬМА (с. 56–61)****М. В. Кіндрачук, Д. О. Вольченко, Н. М. Фідровська, О. І. Духота, Д. Ю. Журавльов, М. М. Остапук, Ю. В. Пороховський, В. В. Харченко**

Проведеними експериментальними дослідженнями при гальмуваннях в стендових умовах отримано дані щодо динамічного коефіцієнта тертя та зносу матеріалів різних типів фрикційних накладок і гальмівних дисків. Встановлено, що на підставі хімічного складу матеріалів фрикційних накладок, які мають шифри, в інтервалі температур 100–450 °С з кроком в 50 °С відношення максимального до мінімального зносу диска коливається від 6,0 до 10,0. Величина співвідношення зносу дисків при 800 і 1000 гальмуваннях, відповідно, в інтервалі температур 100–250 °С і 100–450 °С становила 7,6 і 14,0. Це свідчить, що для матеріалів накладок типу А, В, С і D при другому тепловому режимі лінійний знос робочих поверхонь дисків, більший, ніж при першому тепловому режимі. А для матеріалів накладок типу Е і F знос дисків був однаковим. А це свідчить про те, що застосування традиційних накладок характеризується більшою термонапруженістю пари фрикційного тертя дискового гальма, причому абсолютні значення температур знаходяться в несприятливій зоні 400–700 °С. Це, в свою чергу, може призвести як до фазових змін, так і термоутомленого старіння матеріалів і, у кінцевому результаті, до погіршення їх трибологічних та теплофізичних характеристик в експлуатації. Таким чином впровадження методу вибору компонентів накладок дозволить покращити експлуатаційні показники дискових гальмівних пристроїв автомобілів.

Ключові слова: дисково-колодке гальмо, пара тертя, знос і зношування, шифри фрикційних матеріалів.