

ABSTRACT AND REFERENCES

MATERIALS SCIENCE

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.308704

IMPROVEMENT OF WEAR-RESISTANT AND THERMAL CONDUCTIVITY OF ALUMINUM MATRIX COMPOSITE REINFORCED $Al_2O_3/SiCw/Mg$ POWDER (p. 6–14)**I. K. G. Sugita**Udayana University, Badung, Bali, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-7205-7572>**K. Suarsna**Udayana University, Badung, Bali, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-9462-9898>**N. P. G. Suardana**Udayana University, Badung, Bali, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8146-571X>**Rudi Sunoko**Brawijaya University, Malang, East Java, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0537-4189>

Technological progress demands the development of materials that have special characteristics such as high strength, stiffness, light weight, and good thermal conductivity at a low price. The development of hybrid metal matrix composites is the most important field in advanced materials science engineering.

This research determines about aluminum matrix composites (AMC) reinforced with alumina (Al_2O_3), Silicon carbide whisker (SiCw), and magnesium (Mg) addition. The matrix is made of 90 % pure aluminum powder, and commercially available reinforcing materials include Al_2O_3 , SiCw, and Mg. Objectives include variation of reinforcement fraction and matrix, sintering holding temperature and time. The selection of the sample making process using powder technology followed by the sintering process at different temperatures namely 350, 450 and 550 °C with variations in holding time of 1, 2 and 3 hours. The purpose of this study was to determine the effect of variations in the fraction of reinforcement and sintering treatment on the properties of wear resistance, hardness and thermal conductivity of aluminum matrix composites.

The results showed that the composition ratio of reinforcement to aluminum in sintering treatment significantly affected the mechanical properties. The wear resistance of the material shows excellent performance, namely wear resistance of 0.000065 gr/s, hardness of 45.234 VHN and thermal conductivity of 184.855 Watt/m °C, at a reinforcement composition combination of 10 % Al_2O_3 , 10 % SiCw and 20 % Mg and a sintering temperature of 550 °C. This indicates that the Aluminum matrix composite reinforced with $Al_2O_3/(SiCw/Mg)$ is able to support the friction load due to its low wear rate, good hardness, and good thermal conductivity. This material is very suitable to be used as tribology material, brake element, especially brake drum.

Keywords: aluminum hybrid composite, powder metallurgy hybrid Al_2O_3 , SiCw/Mg, thermal conductivity, wear resistance.

References

- Gu, H., Liu, C., Zhu, J., Gu, J., Wu, J., E. K., Shao, L. et al. (2017). Introducing advanced composites and hybrid materials. *Advanced Composites and Hybrid Materials*, 1 (1), 1–5. <https://doi.org/10.1007/s42114-017-0017-y>
- Jayakrishnan, S., Ragul, G. (2016). Effect of Mechanical Properties of Composite Material Under The Influence of Different Commercial Oils. *IJIRT*, 2 (8), 60–66. Available at: https://www.researchgate.net/publication/323135098_EFFECT_OF_MECHANICAL_PROPERTIES_OF_COMPOSITE_MATERIAL_UNDER_THE_INFLUENCE_OF_DIFFERENT_COMMERCIAL_OILS
- Koli, D. K., Agnihotri, G., Purohit, R. (2015). Advanced Aluminium Matrix Composites: The Critical Need of Automotive and Aerospace Engineering Fields. *Materials Today: Proceedings*, 2 (4-5), 3032–3041. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2015.07.290>
- Chintada, S., Dora, S. P., Kare, D. (2021). Mechanical Behavior and Metallographic Characterization of Microwave Sintered Al/SiC Composite Materials – an Experimental Approach. *Silicon*, 14 (12), 7341–7352. <https://doi.org/10.1007/s12633-021-01409-5>
- Kanth, U. R., Rao, P. S., Krishna, M. G. (2019). Mechanical behaviour of fly ash/SiC particles reinforced Al-Zn alloy-based metal matrix composites fabricated by stir casting method. *Journal of Materials Research and Technology*, 8 (1), 737–744. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2018.06.003>
- Bharathi, P., Kumar, T. S. (2023). Mechanical Characteristics and Wear Behaviour of Al/SiC and Al/SiC/B4C Hybrid Metal Matrix Composites Fabricated Through Powder Metallurgy Route. *Silicon*, 15 (10), 4259–4275. <https://doi.org/10.1007/s12633-023-02347-0>
- Sarvani, R. K., Mohinoddin, M., Ramakrishna, L. S. (2024). Characterization and Mechanical Testing of Hybrid Metal Composites of Aluminium Alloy (A356/LM25) Reinforced by Micro-Sized Ceramic Particles. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series C*, 105 (3), 457–470. <https://doi.org/10.1007/s40032-024-01064-w>
- Venci, A., Bobic, I., Arostegui, S., Bobic, B., Marinković, A., Babić, M. (2010). Structural, mechanical and tribological properties of A356 aluminium alloy reinforced with Al_2O_3 , SiC and SiC+graphite particles. *Journal of Alloys and Compounds*, 506 (2), 631–639. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2010.07.028>
- Chechi, P., Maurya, S. K., Prasad, R., Manna, A. (2023). Influence on Microstructural and Mechanical Properties of Al_2O_3 /Graphite/Flyash-Reinforced Hybrid Composite Using Scrap Aluminum Alloy. *International Journal of Metalcasting*, 18 (2), 975–986. <https://doi.org/10.1007/s40962-023-01069-8>
- Srivastava, S., Sarangi, S. K., Singh, S. P. (2024). Water Absorptivity and Porosity Investigation of Nano Bio-silica, Hemp, and Bamboo Fibre-reinforced Chitosan Bio-composite Material. *Silicon*, 16 (11), 4723–4728. <https://doi.org/10.1007/s12633-024-03027-3>
- Standard Test Method for Thermal Conductivity of Solids by Means of the Guarded-Comparative-Longitudinal Heat Flow Technique. ASTM International.
- Agus Suryawan, I. G. P., Suardana, N. P. G., Winaya, I. N. S., Suyasa, I. W. B. (2020). A study on correlation between hardness and thermal conductivity of polymer composites reinforced with stinging nettle fiber. *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*, 11 (1). <https://doi.org/10.34218/ijciet.11.1.2020.010>
- Vishwakarma, R. K., Pal, S. K., Chakladar, N. D. (2024). Effect of Carbon Fibre Reinforcement on an Aluminium Metal Matrix Composite Joint Through Upward Friction Stir Processing. *Metals and Materials International*. <https://doi.org/10.1007/s12540-024-01690-0>
- Chakrapani, P., Suryakumari, T. S. A. (2021). Mechanical properties of aluminium metal matrix composites-A review. *Materials Today: Proceedings*, 45, 5960–5964. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.247>

15. Surappa, M. K., Prasad, S. V., Rohatgi, P. K. (1982). Wear and abrasion of cast Al-Alumina particle composites. *Wear*, 77 (3), 295–302. [https://doi.org/10.1016/0043-1648\(82\)90055-2](https://doi.org/10.1016/0043-1648(82)90055-2)
16. Manohar, G., Pandey, K. M., Maity, S. R. (2022). Effect of Variations in Microwave Processing Temperatures on Microstructural and Mechanical Properties of AA7075/SiC/Graphite Hybrid Composite Fabricated by Powder Metallurgy Techniques. *Silicon*, 14 (13), 7831–7847. <https://doi.org/10.1007/s12633-021-01554-x>
17. Siddesh Kumar, N. M. (2022). Effect on wear property of aluminium metal matrix composite reinforced with different solid lubricants: a review. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, 14 (S4), 909–917. <https://doi.org/10.1007/s13198-022-01654-w>
18. Mazahery, A., Abdizadeh, H., Baharvandi, H. R. (2009). Development of high-performance A356/nano-Al₂O₃ composites. *Materials Science and Engineering: A*, 518 (1-2), 61–64. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2009.04.014>
19. Xue, C., Yu, J. K., Zhu, X. M. (2011). Thermal properties of diamond/SiC/Al composites with high volume fractions. *Materials & Design*, 32 (8-9), 4225–4229. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2011.04.032>
20. Ashwath, P., Xavier, M. A. (2016). Processing methods and property evaluation of Al₂O₃ and SiC reinforced metal matrix composites based on aluminium 2xxx alloys. *Journal of Materials Research*, 31 (9), 1201–1219. <https://doi.org/10.1557/jmr.2016.131>
21. Suarsana, K., Soenoko, R. (2015). Hardness, Density and Porosity of Al/(SiCw+Al₂O₃p) Composite by Powder Metallurgy Process without and with Sintering. *Applied Mechanics and Materials*, 776, 246–252. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.776.246>
22. Chak, V., Chattopadhyay, H., Dora, T. L. (2020). A review on fabrication methods, reinforcements and mechanical properties of aluminum matrix composites. *Journal of Manufacturing Processes*, 56, 1059–1074. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2020.05.042>
23. Singh, N. K., Sethuraman, B. (2023). Development and Characterization of Aluminium AA7075 Hybrid Composite Foams (AHCfs) Using SiC and TiB₂ Reinforcement. *International Journal of Metalcasting*, 18 (1), 212–227. <https://doi.org/10.1007/s40962-023-01009-6>
24. Corrochano, J., Cerecedo, C., Valcárcel, V., Lieblisch, M., Guitián, F. (2008). Whiskers of Al₂O₃ as reinforcement of a powder metallurgical 6061 aluminium matrix composite. *Materials Letters*, 62 (1), 103–105. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2007.04.080>
25. Lakra, S., Bandyopadhyay, T. K., Das, S., Das, K. (2021). Thermal conductivity of in-situ dual matrix aluminum composites with segregated morphology. *Materials Research Bulletin*, 144, 111515. <https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2021.111515>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.310143

INFLUENCE OF HEAT TREATMENT ON THE STRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF PSEUDO α -TITANIUM ALLOY IN A WELDED JOINT (p. 15–25)

Valerii Bilous

E. O. Paton Electric Welding Institute
of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0082-8030>

Eduard Vrzhyzhevskiy

E. O. Paton Electric Welding Institute
of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8651-8510>

Valery Kostin

E. O. Paton Electric Welding Institute
of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2677-4667>

Tatjana Taranova

E. O. Paton Electric Welding Institute
of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4723-9866>

Volodymyr Zvorykin

TECHNOL LLC, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2617-7731>

Constantine Zvorykin

National Technical University of Ukraine
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7437-6583>

The object of this study was the weld material of a new Ti-6.1Al-6.0Zr-6.3Sn-3.2Mo-1.1Nb-1.2Si alloy, which was obtained by electron beam welding.

Electron beam welding (EBW) provides rapid melting and cooling with crystallization under significant temperature gradients. For the pseudo α -titanium alloy, this leads to the appearance of significant residual stresses in the joint and determines the specificity of the dispersion decay of the β -phase. Residual stresses are reduced by preliminary heating, removed by heat treatment. Such processing exerts a critical influence on the formation of the structure and phase composition of the weld and the zone of thermal influence of the electron beam; it can form macro defects, undesirable phases, and structural states.

The conditions of heat treatment have been determined to bring the welded joint from complex alloyed pseudo α -titanium alloy to the required level of mechanical characteristics. The structure, phase morphology, elemental composition, and mechanical characteristics of welded joints without additional heat treatment have been compared, with preliminary local heating of 400 °C, with additional post-weld local annealing at $T_T=750$ °C, $t_T=4$ minutes and sequential annealing in the furnace at $T_T=850$ °C, $t_T=60$ minutes. It has been established that a full cycle of heat treatment of a welded joint provides the highest characteristics of strength and plasticity, but local heat treatment also makes it possible to obtain a defect-free joint with satisfactory characteristics for less responsible products. It is shown how heat treatment of pseudo α -titanium alloy makes it possible to get rid of unwanted phase formations (Zr,Ti)₅Si₃Al and transform them into (Zr,Ti,Nb,Mo)₃SiAl.

The results are promising for use in the production of aircraft engine parts.

Keywords: electron beam welding, titanium alloys, heat treatment, mechanical properties, dispersion strengthening.

References

1. Peters, M., Hemptenmacher, J., Kumpfert, J., Leyens, C. (2003). Structure and Properties of Titanium and Titanium Alloys. *Titanium and Titanium Alloys*, 1–36. <https://doi.org/10.1002/3527602119.ch1>
2. Manda, P., Pathak, A., Mukhopadhyay, A., Chakkingal, U., Singh, A. K. (2017). Ti-5Al-5Mo-5V-3Cr and similar Mo equivalent alloys: First principles calculations and experimental investigations. *Journal of Applied Research and Technology*, 15 (1), 21–26. <https://doi.org/10.1016/j.jart.2016.11.001>
3. Yang, Y. L., Wang, W. Q., Li, F. L., Li, W. Q., Zhang, Y. Q. (2009). The Effect of Aluminum Equivalent and Molybdenum Equivalent on the Mechanical Properties of High Strength and High Toughness Titanium Alloys. *Materials Science Forum*, 618-619, 169–172. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.618-619.169>
4. Bulanova, M., Tretyachenko, L., Meleshevich, K., Saltykov, V., Vereshchaka, V., Galadzhyy, O. et al. (2003). Influence of tin on the

structure and properties of as-cast Ti-rich Ti–Si alloys. *Journal of Alloys and Compounds*, 350 (1-2), 164–173. [https://doi.org/10.1016/s0925-8388\(02\)00971-4](https://doi.org/10.1016/s0925-8388(02)00971-4)

5. Grigorenko, G. M., Zadorozhnyuk, O. M. (2012). Dispersionnoe uprochnenie – put' k povysheniyu prochnostnykh svoystv titanovykh splavov novogo pokoleniya (obzor). *Sovremennaya elektrometallurgiya*, 4, 42–49. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/sovele_2012_4_11
6. Brodnikovskiy, D. N., Golovash, A. V., Tkachenko, S. V., Okun', I. Yu., Kuz'menko, N. N., Firstov, S. A. (2006). Vliyanie nedeformiruemyykh chastits silitsida na karakter deformatsii splavov na osnove titana pri povyshennykh temperaturah. *Metallofizika i noveychie tekhnologii*, 28, 165–174. Available at: https://www.researchgate.net/publication/290524943_Influence_of_rigid_particles_of_silicide_on_character_of_deformation_of_alloys_on_the_base_of_a_titanium_at_the_high_temperatures
7. Sakamoto, T., Akiyama, H., Tange, S., Takebe, H. (2023). Age Hardening of Si-Bearing Near- α Titanium Alloy Ti–6Al–2.75Sn–4Zr–0.4Mo–0.45Si (Ti-1100) with Two Kinds of Initial Phases. *Materials Transactions*, 64 (9), 2246–2253. <https://doi.org/10.2320/matertrans.mt-l2023003>
8. Grigorenko, G. M., Zadorozhnyuk, O. M. (2016). Struktura, mekhanicheskie svoystva i svariyaemost' psevdoo- α - (α + β)-Ti splavov, uprochnennykh silitsidami. *Sovremennaya elektrometallurgiya*, 2 (123), 51–56. Available at: <https://patonpublishinghouse.com/sem/pdf/2016/pdfarticles/02/8.pdf>
9. Vrzhezhevskiy, E. L., Sabokar', V. K., Ahonin, S. V., Petrichenko, I. K. (2013). Vliyanie lokal'noy termicheskoy obrabotki pri ELS titanovykh splavov s silitsidnym uprochneniem na mekhanicheskie svoystva metalla shvov. *Avtomaticeskaya svarka*, 2, 21–24. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/as_2013_2_5
10. Nesterenkov, V. M., Bondarev, A. A. (2014). Elektronno-luchevaya svarka krupnogabaritnykh tolstostennykh konstruksiy iz splavov magniya. *Avtomaticeskaya svarka*, 2, 39–43. Available at: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/103265>
11. Loboda, P., Zvorykin, C., Zvorykin, V., Vrzhezhevskiy, E., Taranova, T., Kostin, V. (2020). Production and Properties of Electron-Beam-Welded Joints on Ti–TiB Titanium Alloys. *Metals*, 10 (4), 522. <https://doi.org/10.3390/met10040522>
12. Voron, M. M. (2012). Metodika rascheta poter' alyuminiya pri poluchenii splavov sistemy Ti–Al v usloviyah elektronno-luchevoy garnisazhnoy plavki. *Protsesty lit'ya*, 6, 22–25. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/PLN_2012_6_5

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.310239

THE IMPORTANT FACTORS FOR STRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES IN THE REPAIR OF IRON BASE METAL COMPONENT BY THERMAL SPRAY AND WELDING PROCESSES (p. 26–33)

Raden Dadan Ramdan

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

Yasya Nur Muhammad

Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-8809-5646>

Sihol Christian Lumbantoran

Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1572-5044>

Irma Pratiwi

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

Bambang Widyanto

Jenderal Achmad Yani University, Sudirman, Cimahi, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1994-4389>

Aditianto Ramelan

Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0226-3341>

Cast iron is widely used in the manufacturing industry due to its high strength and wear resistance properties. However, cast iron's brittle nature results in frequent failure of cracks during formation or use. Among the repair methods that can be used are thermal spray and the welding process. Even though both welding and thermal spray have been implemented for various metal repairs processes, however very limited technical reports as well as scientific papers are found for this topic. Therefore, the optimum condition of metal repair by both processes is still needed to be explored. The present works focus on the comparison between thermal spray and welding method for cast iron repairs purposes. In the experiment of thermal spray process focus has been given in optimizing spraying distance on microstructure and hardness properties. On the other hand, in the welding experimental works focus has been given on the influence of groove design on microstructure and hardness. Each research variable is carried out to obtain optimal crack repair results. It was observed that thermal spray process produces less Heat Affected Zone (HAZ) area compared to the welding process therefore having less critical area. The highest hardness value of thermal spray method is 101.33 shown by 30 cm spraying distance. Meanwhile, the highest hardness value of HAZ area of welding method is 600 HV shown by specimen A. It was obtained that from the present experimental works, thermal spray process produces better results than welding process. However, the value of the specimen hardness produced by the welding and thermal spray method depends on the type of coating material used.

Keywords: cast iron, repair, thermal spray, welding, spraying distance, microstructure, hardness.

References

1. Reed, G. J. (2014). Understanding cast iron and repairing damaged castings permanently. *LOCK-N-STITCH*. Available at: <https://asremavad.com/wp-content/uploads/2019/03/31-Understanding-cast-iron-and-repairing-damaged-castings-permanently.pdf>
2. Properties and Selection: Irons, Steels, and High-Performance Alloys (1990). ASM Handbook Committee. <https://doi.org/10.31399/asm.hb.v01.9781627081610>
3. Wube Dametew, A. (2015). Experimental Investigation on Weld Ability of Cast Iron. *Science Discovery*, 3 (6), 71. <https://doi.org/10.11648/j.sd.20150306.15>
4. Arc Welding of Specific Steels and Cast Irons (2015). KOBELCO. Available at: https://www.kobelco.co.jp/english/welding/events/files/2015_KOBELCO_Specific.pdf
5. Askari-Paykani, M., Shayan, M., Shamanian, M. (2014). Weldability of Ferritic Ductile Cast Iron Using Full Factorial Design of Experiment. *Journal of Iron and Steel Research International*, 21 (2), 252–263. [https://doi.org/10.1016/s1006-706x\(14\)60039-x](https://doi.org/10.1016/s1006-706x(14)60039-x)
6. Permana, M. S., Suratman, R. (2012). How to Repair Surface Defect of Gray Cast Iron Components. *Proc. XI Annu. Natl. Semin. Mech. Eng. (SNTTM XI) Thermofluid IV Univ. Gadjah Mada*. Available at: <https://pdfcoffee.com/08-how-to-repair-surface-defect-of-gray-cast-iron-components-pdf-free.html>
7. Wiryosumarto, H., Okumura, T. (2000). *Metal Welding Technology*. Jakarta: Pradnya Paramita.
8. Butola, R. (2013). Study of Microstructure, Impact Strength on Manual Metal Arc Welding Of Gray Cast Iron Using Enife–Ci

- Filler Metal. *IOSR Journal of Engineering*, 3 (7), 37–42. <https://doi.org/10.9790/3021-03733742>
9. Callister, W. D. (1999). *Materials Science and Engineering - An Introduction* (5th edition). Aircraft Engineering and Aerospace Technology, 71 (6). <https://doi.org/10.1108/aeat.1999.12771fae.004>
 10. Gouveia, R., Silva, F., Paiva, O., Andrade, M., Silva, L., Moselli, P., Papis, K. (2017). Study of the Heat-Treatments Effect on High Strength Ductile Cast Iron Welded Joints. *Metals*, 7 (9), 382. <https://doi.org/10.3390/met7090382>
 11. Sonawan, H., Suratman, R. (2006). *Introduction to Understanding Metal Welding*. Alfabet. Available at: <https://www.scribd.com/document/374354885/Pengantar-Untuk-Memahami-Proses-Pengelasan-Logam>
 12. Maranhão, O., Rodrigues, D., Boccalini, M., Sinatora, A. (2008). Influence of parameters of the HVOF thermal spray process on the properties of multicomponent white cast iron coatings. *Surface and Coatings Technology*, 202 (15), 3494–3500. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2007.12.026>
 13. Almeida, E. (2000). *Surface Treatments and Coatings for Metals. A General Overview*. 1. Surface Treatments, Surface Preparation, and the Nature of Coatings. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 40 (1), 3–14. <https://doi.org/10.1021/ie000209l>
 14. Jalali Azizpour, M., Tolouei-Rad, M. (2019). The effect of spraying temperature on the corrosion and wear behavior of HVOF thermal sprayed WC-Co coatings. *Ceramics International*, 45 (11), 13934–13941. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2019.04.091>
 15. Vardavoulis, M., Economou, S., Papapanos, G. (2023). Industrial Component Restoration Using Thermal Spray Technologies. *Surface Modification Technologies XVIII: Proceedings of the Eighteenth International Conference on Surface Modification Technologies Held in Dijon, France November 15-17, 2004: V. 18*, 195–200. <https://doi.org/10.1201/9781003423874-48>
 16. Sahraoui, T., Guessasma, S., Ali Jeridane, M., Hadji, M. (2010). HVOF sprayed WC-Co coatings: Microstructure, mechanical properties and friction moment prediction. *Materials & Design*, 31 (3), 1431–1437. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2009.08.037>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.299764

EFFECT OF THE BRASS WASTE RECYCLING PROCESS ON MECHANICAL PROPERTIES WITH INVESTMENT CASTING FOR GEAR MATERIALS (p. 34–41)

Erwin

University of Darma Persada, Jakarta, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2755-6215>

Didik Sugiyanto

University of Darma Persada, Jakarta, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4064-0235>

Danny Faturahman

University of Darma Persada, Jakarta, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9765-7433>

Yefri Chan

University of Darma Persada, Jakarta, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6205-2322>

Husen Asbanu

University of Darma Persada, Jakarta, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5982-8983>

This study is an experimental research to analyze the characteristics and mechanical properties of the casting process of recycled brass alloy, which will be used as a material for gears.

Currently, the remaining production and waste from brass alloys continue to increase. Another thing is the increase in the need for brass gears, so environmentally friendly material engineering is needed to provide good quality and efficient energy use, especially during the casting process. The casting process uses an electric furnace that melts brass alloys at 526 up to 900 °C within 1 hour and molds to make test specimens. The results of microstructural testing for grain size in recycled brass alloys range from 74.63 μm to 84.57 μm. The maximum tensile strength produced is up to 225.2 MPa, the maximum yield strength is up to 179.8 MPa, and the maximum elongation is up to 7.3 %. The roughness of recycled brass alloys has a maximum Ra value (average roughness) of up to 0.836 μm. Validation was carried out by comparing the mechanical properties of CAC 302 brass products and the study results. The data shows that recycled brass's maximum yield strength value is 179.8 MPa and CAC 302 brass material is 175 MPa, but for the ultimate tensile strength value, the value of recycled brass is far below CAC 302 products. These results can be a consideration for the industry to be able to use recycled brass alloys for gear products because the yield strength value is not far from CAC 302 brass products. The impact result of this study produces recycled brass alloys that are environmentally friendly, efficient in smelting energy consumption, and have good yield strength. The results of this research can benefit the manufacture of gear components made of brass alloys.

Keywords: environmentally friendly, gear manufacture, investment casting, mechanical properties, brass recycling.

References

1. Li, X., Ma, B., Wang, C., Chen, Y. (2023). Morphology evolution and agglomeration mechanism of Fe₅Si₃ precipitated phase after Fe Si microalloying and its effect on the properties of brasses. *Materials Characterization*, 205, 113261. <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2023.113261>
2. Liu, W., Ma, B., Wang, L., Zhao, Q., Zuo, Y., Chen, Y., Wang, C. (2022). Corrosion behavior of silica-alumina refractories for scrap brass smelter linings. *Journal of Cleaner Production*, 370, 133600. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133600>
3. Li, X., Ma, B., Wang, C., Liu, W., Zhang, B., Chen, Y. (2023). Action and segregation mechanism of Fe-rich phase in as-cast brass with different Fe contents. *Journal of Molecular Liquids*, 371, 121161. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2022.121161>
4. Asadi, P., Akbari, M., Armani, A., Aliha, M. R. M., Peyghami, M., Sadowski, T. (2023). Recycling of brass chips by sustainable friction stir extrusion. *Journal of Cleaner Production*, 418, 138132. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138132>
5. Xia, Z., Zhang, X., Huang, X., Yang, S., Chen, Y., Ye, L. (2020). Hydrometallurgical stepwise recovery of copper and zinc from smelting slag of waste brass in ammonium chloride solution. *Hydrometallurgy*, 197, 105475. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2020.105475>
6. Stavroulakis, P., Toulfatzis, A. I., Pantazopoulos, G. A., Paipetis, A. S. (2022). Machinable Leaded and Eco-Friendly Brass Alloys for High Performance Manufacturing Processes: A Critical Review. *Metals*, 12 (2), 246. <https://doi.org/10.3390/met12020246>
7. Rohrmoser, A., Merklein, M. (2022). Influence of Metal Flank Hardness of Machined and Cold Forged Gears on Wear within a Metal-Polyamide Gear Pair and Targeted Process Adaptation. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 32 (4), 1984–2006. <https://doi.org/10.1007/s11665-022-07251-z>
8. Mohapatra, K. D., Satpathy, M. P., Sahoo, S. K. (2017). Comparison of optimization techniques for MRR and surface roughness in wire EDM process for gear cutting. *International Journal of Industrial*

- Engineering Computations, 8, 251–262. <https://doi.org/10.5267/j.ijec.2016.9.002>
9. Du, Y.-F., Han, B., Li, H. (2022). Experimental and Numerical Simulation of Sma-Friction Damper Based on Gear Mechanism. *Engineering Mechanics*, 39 (12), 190–201. <https://doi.org/10.6052/j.issn.1000-4750.2021.07.0564>
 10. Chaubey, S. K., Jain, N. K., Gupta, K. (2021). A Comprehensive Investigation on Development of Lightweight Aluminium Miniature Gears by Thermoelectric Erosion Machining Process. *Micromachines*, 12 (10), 1230. <https://doi.org/10.3390/mi12101230>
 11. Nur, R., Muas, M., Apollo, Risal, S. (2019). Effect of Current and Wire Speed on Surface Roughness in the manufacturing of Straight Gear using Wire-cut EDM Process. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 619 (1), 012002. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/619/1/012002>
 12. Memar, S., Azadi, M., abdoos, H. (2023). An evaluation on microstructure, wear, and compression behavior of Al₂O₃/brass matrix nanocomposites fabricated by stir casting method. *Materials Today Communications*, 34, 105130. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2022.105130>
 13. Li, C., Zhang, T., Liu, Y., Liu, J. (2023). Effect of process parameters on surface quality and bonding quality of brass cladding copper stranded wire prepared by continuous pouring process for clad. *Journal of Materials Research and Technology*, 26, 8025–8035. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.09.140>
 14. Amaral, L., Quinta, R., Silva, T. E., Soares, R. M., Castellanos, S. D., de Jesus, A. M. (2018). Effect of lead on the machinability of brass alloys using polycrystalline diamond cutting tools. *The Journal of Strain Analysis for Engineering Design*, 53 (8), 602–615. <https://doi.org/10.1177/0309324718796384>
 15. Vazdirvanidis, A., Rikos, A., Toulfatzis, A. I., Pantazopoulos, G. A. (2022). Electron Backscatter Diffraction (EBSD) Analysis of Machinable Lead-Free Brass Alloys: Connecting Texture with Fracture. *Metals*, 12 (4), 569. <https://doi.org/10.3390/met12040569>
 16. Yang, C., Ding, Z., Tao, Q. C., Liang, L., Ding, Y. F., Zhang, W. W., Zhu, Q. L. (2018). High-strength and free-cutting silicon brasses designed via the zinc equivalent rule. *Materials Science and Engineering: A*, 723, 296–305. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2018.03.055>
 17. Li, R., Xiao, Z., Li, Z., Meng, X., Wang, X. (2023). Work Hardening Behavior and Microstructure Evolution of a Cu-Ti-Cr-Mg Alloy during Room Temperature and Cryogenic Rolling. *Materials*, 16 (1), 424. <https://doi.org/10.3390/ma16010424>
 18. Semih, Ö., Recep, A. (2023). Investigation of microstructure, machinability, and mechanical properties of new-generation hybrid lead-free brass alloys. *High Temperature Materials and Processes*, 42 (1). <https://doi.org/10.1515/htmp-2022-0263>
 19. Moussa, M. E., Amin, M., Ibrahim, K. M. (2022). Effect of Ultrasonic Vibration Treatment on Microstructure, Tensile Properties, Hardness and Wear Behaviour of Brass Alloy. *International Journal of Metalcasting*, 17 (1), 305–313. <https://doi.org/10.1007/s40962-021-00748-8>
 20. Choucri, J., Balbo, A., Zanotto, F., Grassi, V., Touhami, M. E., Mansouri, I., Monticelli, C. (2021). Corrosion Behavior and Susceptibility to Stress Corrosion Cracking of Leaded and Lead-Free Brasses in Simulated Drinking Water. *Materials*, 15 (1), 144. <https://doi.org/10.3390/ma15010144>
 21. Patel G C, M., Shettigar, A. K., Parappagoudar, M. B. (2018). A systematic approach to model and optimize wear behaviour of castings produced by squeeze casting process. *Journal of Manufacturing Processes*, 32, 199–212. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2018.02.004>
 22. TAE SUNG Industrial.
 23. Erwin, Suprpto, W., Sugiarto, Setyarini, P. H. (2024). Comparison of the accuracy of OES and EDX tests on nickel dissolving in brass casting. *EUREKA: Physics and Engineering*, 3, 148–158. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2024.003284>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.306262
COMPARISON OF THE HARDNESS VALUE AND MICROSTRUCTURE OF AL6061 IN HORIZONTAL CENTRIFUGAL CASTING WITH AND WITHOUT MOLD COOLING (p. 42–48)

Agus Suprpto
 Universitas Merdeka Malang, Malang, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-5973-0381>

Dewi Izzatus Tsamroh
 Universitas Negeri Malang, Malang, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0752-6529>

Djoko Andrijono
 Universitas Merdeka Malang, Malang, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7055-9569>

Septian Dwi Irianto Maswain
 Universitas Merdeka Malang, Malang, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-7024-9557>

The object of this research is the horizontal centrifugal casting process of the Al6061 alloy. Usually, cast products experience some casting defects, so the horizontal centrifugal casting process is applied to reduce the possibility of casting defects arising. In some casting processes, especially in the production of cylindrical specimens, casting defects such as porosity are encountered. Therefore, horizontal centrifugal casting was applied to overcome this problem. The test results show that the average hardness value for aluminum 6061 specimens resulting from centrifugal casting products with water cooling was 73.3 HR_E, while the average hardness value for aluminum 6061 specimens resulting from centrifugal casting products without water cooling was 86.4 HR_E. The microstructure results show that the grain size of centrifugal casting products with water cooling was 82.5 μm, whereas without water cooling it was 75 μm. Higher hardness values were obtained in specimens without mold cooling, this is because the conductivity in molds without cooling was higher compared to molds that experienced water cooling. The higher the heat conductivity of the mold, the faster the cooling process of the cast product. The casting process using the horizontal centrifugal method can be carried out to produce cylindrical spare parts.

Keywords: metal casting, horizontal centrifugal casting, mold cooling, hardness, microstructure, Al6061.

References

1. Tsamroh, D. I. (2021). Comparison finite element analysis on durability strength against multistage artificial aging process. *Archives of Materials Science and Engineering*, 1 (109), 29–34. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0015.0512>
2. Sun, Y. (2023). The use of aluminum alloys in structures: Review and outlook. *Structures*, 57, 105290. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2023.105290>
3. Kumar, B., Joshi, A., Mer, K. K. S., Prasad, L., Pathak, M. K., Saxena, K. K. (2022). The impact of centrifugal casting processing parameters on the wear behaviour of Al alloy/Al₂O₃ functionally graded materials. *Materials Today: Proceedings*, 62, 2780–2786. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.01.408>
4. Ogunsemi, B. T., Abioye, T. E., Ogedengbe, T. I., Zuhailawati, H. (2021). A review of various improvement strategies for joint qual-

- ity of AA 6061-T6 friction stir weldments. *Journal of Materials Research and Technology*, 11, 1061–1089. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.01.070>
5. Fathi, R., Ma, A., Saleh, B., Xu, Q., Jiang, J. (2020). Investigation on mechanical properties and wear performance of functionally graded AZ91-SiCp composites via centrifugal casting. *Materials Today Communications*, 24, 101169. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2020.101169>
 6. Chandran, V., Kunjan, C., Veerapandian, V., Kannan, R. (2023). Mechanical, corrosion and biological behavior of centrifugal casting processed Mg–2Zn–1Mn alloy reinforced with β Tricalciumphosphate (β TCP) for orthopaedic applications. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 144, 105983. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2023.105983>
 7. Li, B., Bai, W., Yang, K., Hu, C., Wei, G., Liu, J. et al. (2024). Revealing the microstructural evolution and strengthening mechanism of Mg-5.5Gd-3Y-1Zn-0.5Mn alloy in centrifugal casting and subsequent hot rolling. *Journal of Alloys and Compounds*, 984, 173950. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2024.173950>
 8. Ma, Z., Li, G., Peng, Q., Peng, X., Chen, D., Zhang, H. et al. (2022). Microstructural evolution and enhanced mechanical properties of Mg–Gd–Y–Zn–Zr alloy via centrifugal casting, ring-rolling and aging. *Journal of Magnesium and Alloys*, 10 (1), 119–128. <https://doi.org/10.1016/j.jma.2020.11.009>
 9. Li, Y., Shen, B., Yang, H., Hu, G., Yang, D., Wang, J. et al. (2023). Alumina nanocrystalline ceramic by centrifugal casting. *Journal of the European Ceramic Society*, 43 (4), 1590–1596. <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2022.12.004>
 10. Ali, S. M. (2019). The effect of reinforced SiC on the mechanical properties of the fabricated hypoeutectic Al-Si alloy by centrifugal casting. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 22 (4), 1125–1135. <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2019.02.009>
 11. Oktikawati, A., Riastuti, R., Damisih, D., Nyoman Jujur, I., Paul Setiawan Kaban, A. (2024). Electrochemical characteristic and microstructure of Ti-6Al-7Nb alloy by centrifugal casting for orthopedic implant based on ageing time variations. *Materials Science*, 2 (12 (128)), 6–15. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.302614>
 12. Nafiuddin, I., Samsudi, S. (2020). Pengaruh Variasi Putaran Cetakan Pengecoran Sentrifugal Tegak pada Pengecoran Paduan Aluminium terhadap Ketangguhan Impak dan Struktur Mikro Pembuatan Velg Gokart. *JMEL: Journal of Mechanical Engineering Learning*, 9 (1). Available at: <https://journal.unnes.ac.id/sju/jmel/article/view/39624>
 13. Manurung, F. F., Mahadi, M. (2022). Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Temperatur Pemanasan Awal Cetakan Horizontal Centrifugal Casting Pada Pengecoran Al-Si Terhadap Sifat Mekanik Dan Cacat Coran. *Dinamis*, 10 (2), 46–52. <https://doi.org/10.32734/dinamis.v10i2.10270>
 14. Xin, M., Wang, Z., Lu, B., Li, Y. (2022). Effects of different process parameters on microstructure evolution and mechanical properties of 2060 Al–Li alloy during vacuum centrifugal casting. *Journal of Materials Research and Technology*, 21, 54–68. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.08.147>
 15. Mubarok, A. K. (2017). Pengaruh Variasi Temperatur Awal Cetakan Centrifugal Casting Terhadap Nilai Kekerasan dan Struktur Mikro pada Pengecoran Aluminium Berbahan Piston Bekas. Universitas Negeri Semarang. Available at: <https://lib.unnes.ac.id/30811/1/5201413010.pdf>
 16. Bintoro, W. M., Undiana, B., Duddy, Y. P. (2014). Penerapan Metode Sentrifugal pada Proses Pengecoran Produk Komponen Otomotif Velg Sepeda Motor. *Jurnal Energi Dan Manufaktur*, 6 (2), 135–142.
 17. Florenciano, J. T. O., Ambrosi, A., Hotza, D., González, S. Y. G. (2022). Understanding centrifugal casting in the manufacture of functionally graded materials. *Journal of the European Ceramic Society*, 42 (15), 7089–7101. <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2022.08.042>
 18. Zygmontowicz, J., Tomaszewska, J., Jeleń, J., Piotrkiewicz, P., Wachowski, M., Torzewski, J., Żurowski, R. (2022). Comprehensive analysis of the microstructure, properties and environmental performance of Al₂O₃-ZrO₂ composites obtained via centrifugal slip casting. *Chemical Engineering Science*, 263, 118086. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2022.118086>
 19. Darmadi, D. B., Talice, M. (2021). Improving the strength of friction stir welded joint by double side friction welding and varying pin geometry. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 24 (3), 637–647. <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2020.11.001>
 20. Tsamroh, D. I., Riza Fauzy, M. (2022). Peningkatan Sifat Mekanik Al6061 Melalui Heat Treatment Natural-Artificial Aging. *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, 6 (1), 8–13. <https://doi.org/10.33379/gtech.v6i1.1217>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.307930

IMPROVEMENT THE DIELECTRIC AND IMPEDANCE PROPERTIES OF Pb-FREE Bi_{0.5}Na_{0.5}TiO₃-SrTiO₃ PIEZOELECTRIC MATERIALS MODIFIED BY Fe₂O₃ (p. 49–57)

Mukhtar Effendi

Jenderal Soedirman University, Purwokerto Utara, Banyumas, Jawa Tengah, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3299-8373>

Nugraheni Puspita Rini

Jenderal Soedirman University, Purwokerto Utara, Banyumas, Jawa Tengah, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-1701-4199>

Candra Kurniawan

National Research and Innovation (BRIN), Kota Tangerang Selatan, Banten, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3421-2269>

Wahyu Tri Cahyanto

Jenderal Soedirman University, Purwokerto Utara, Banyumas, Jawa Tengah, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4148-0744>

Wahyu Widanarto

Jenderal Soedirman University, Purwokerto Utara, Banyumas, Jawa Tengah, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7342-7791>

The focus of this study is on the Fe₂O₃-doped Bi_{0.5}Na_{0.5}TiO₃-SrTiO₃ piezoelectric material. This is important to find ecologically acceptable piezoelectric materials. This research aims to obtain a lead-free piezoelectric material because lead is a material that is not environmentally friendly. An alternative solution is a piezoelectric material based on BNT-ST, which in this case is doped with Fe₂O₃ material. The study of Fe₂O₃ doped Bi_{0.5}Na_{0.5}TiO₃-SrTiO₃ piezoelectric material prepared by the solid-state reaction method was carried out to determine the optimum composition of the material formed. Doping variations are 0; 2.5; 5; 7.5; and 10 in mol %. The examinations were performed using X-ray diffraction (XRD) spectroscopy, a Scanning Electron Microscope (SEM), and an LCR meter. The Fe₂O₃ doped Bi_{0.5}Na_{0.5}TiO₃-SrTiO₃ produced a new compound in the form of FeBi₅Ti₃O₁₅-Na₂Ti₃O₇-SrTiO₃ with the crystal structure

of cubic, orthorhombic, and monoclinic, as well as the increasing crystalline size with the addition of dopants, exclude at 5 mol % and 7.5 mol %. $\text{FeBi}_5\text{Ti}_3\text{O}_{15}\text{-Na}_2\text{Ti}_3\text{O}_7\text{-SrTiO}_3$ also produces varying particle sizes, which are between 0.88–8.23 μm . From the obtained data, the optimum composition of Fe_2O_3 doped $\text{Bi}_{0.5}\text{Na}_{0.5}\text{TiO}_3\text{-SrTiO}_3$ was the 2.5 mol % of Fe_2O_3 due to it having the highest dielectric constant (ϵ_r) and temperature Curie (T_c), and also the lowest material impedance (Z) with the ϵ_r of 12.037 at T_c of 400 °C and Z of 135 k Ω . The high piezoelectricity, which is indicated by the high value of the dielectric constant and Curie temperature, is possible due to the presence of a greater number of sodium ions in the $\text{Na}_2\text{Ti}_3\text{O}_7$ phase. Sodium ions are ions with good electrical storage capabilities. The increase in dielectric constant in the BNT-ST piezoelectric obtained by the addition of Fe_2O_3 shows that this material can be used as a substitute for lead-based piezoelectric materials so that it is secure for the environment. The piezoelectric material of BNT-ST doped with Fe_2O_3 earned from this research can be applied to obtain electricity with an optimal value when given mechanical pressure.

Keywords: piezoelectric, BNT-ST, Fe_2O_3 doping, electric properties, Curie temperature.

References

- Gao, X., Wu, J., Yu, Y., Chu, Z., Shi, H., Dong, S. (2018). Giant Piezoelectric Coefficients in Relaxor Piezoelectric Ceramic PNN-PZT for Vibration Energy Harvesting. *Advanced Functional Materials*, 28 (30). <https://doi.org/10.1002/adfm.201706895>
- Gao, B., Yao, Z., Lai, D., Guo, Q., Pan, W., Hao, H. et al. (2020). Unexpectedly high piezoelectric response in Sm-doped PZT ceramics beyond the morphotropic phase boundary region. *Journal of Alloys and Compounds*, 836, 155474. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2020.155474>
- Jain, A., K. J., P., Sharma, A. Kr., Jain, A., P. N, R. (2015). Dielectric and piezoelectric properties of PVDF/PZT composites: A review. *Polymer Engineering & Science*, 55 (7), 1589–1616. <https://doi.org/10.1002/pen.24088>
- Song, R., Shan, X., Lv, F., Xie, T. (2015). A study of vortex-induced energy harvesting from water using PZT piezoelectric cantilever with cylindrical extension. *Ceramics International*, 41, S768–S773. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2015.03.262>
- Wang, G., Hong, Y.-H., Nguyen, H. T. K., Kim, B. W., Ahn, C. W., Han, H.-S., Lee, J.-S. (2019). High electromechanical strain properties in SrTiO_3 -modified $\text{Bi}_{1/2}\text{Na}_{1/2}\text{TiO}_3\text{-KTaO}_3$ lead-free piezoelectric ceramics under low electric field. *Sensors and Actuators A: Physical*, 293, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2019.04.016>
- Hong, C.-H., Kim, H.-P., Choi, B.-Y., Han, H.-S., Son, J. S., Ahn, C. W., Jo, W. (2016). Lead-free piezoceramics – Where to move on? *Journal of Materials*, 2 (1), 1–24. <https://doi.org/10.1016/j.jmat.2015.12.002>
- Wu, S., Chen, P., Zhai, J., Shen, B., Li, P., Li, F. (2018). Enhanced piezoelectricity and energy storage performances of Fe-doped BNT–BKT–ST thin films. *Ceramics International*, 44 (17), 21289–21294. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2018.08.179>
- Zheng, H., Sun, E., Luo, H., Zhang, X., Yang, Y., Yang, B. et al. (2024). Comprehensive optimization of piezoelectric coefficient and depolarization temperature in Mn-doped $\text{Bi}_{0.5}\text{Na}_{0.5}\text{TiO}_3\text{-Bi}_{0.5}\text{K}_{0.5}\text{TiO}_3\text{-BaTiO}_3$ lead-free piezoceramics. *Journal of Materials Science & Technology*, 172, 255–263. <https://doi.org/10.1016/j.jmst.2023.06.043>
- Vuong, L. D., Gio, P. D. (2020). Enhancement in dielectric, ferroelectric, and piezoelectric properties of BaTiO_3 -modified $\text{Bi}_{0.5}(\text{Na}_{0.4}\text{K}_{0.1})\text{TiO}_3$ lead-free ceramics. *Journal of Alloys and Compounds*, 817, 152790. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2019.152790>
- Maria Joseph Raj, N. P., Khandelwal, G., Kim, S.-J. (2021). 0.8BNT–0.2BKT ferroelectric-based multimode energy harvester for self-powered body motion sensors. *Nano Energy*, 83, 105848. <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2021.105848>
- Nguyen, H. T. K., Duong, T. A., Erkinov, F., Kang, H., Kim, B. W., Ahn, C. W. et al. (2020). Effect of SrTiO_3 modification on dielectric, phase transition and piezoelectric properties of lead-free $\text{Bi}_{0.5}\text{Na}_{0.5}\text{TiO}_3\text{-CaTiO}_3\text{-SrTiO}_3$ piezoelectric ceramics. *Journal of the Korean Ceramic Society*, 57 (5), 570–577. <https://doi.org/10.1007/s43207-020-00051-y>
- Nguyen, H. T. K., Duong, T. A., Erkinov, F., Ahn, C. W., Kim, B. W., Han, H.-S., Lee, J.-S. (2020). Large Electric Field-Induced Strain Response Under a Low Electric Field in Lead-Free $\text{Bi}_{1/2}\text{Na}_{1/2}\text{TiO}_3\text{-SrTiO}_3\text{-BiAlO}_3$ Ternary Piezoelectric Ceramics. *Journal of Electronic Materials*, 49 (11), 6677–6685. <https://doi.org/10.1007/s11664-020-08436-9>
- Pattipaka, S., James, A. R., Dobbidi, P. (2018). Enhanced dielectric and piezoelectric properties of BNT-KNN piezoelectric ceramics. *Journal of Alloys and Compounds*, 765, 1195–1208. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2018.06.138>
- Bai, W., Zheng, P., Wen, F., Zhang, J., Chen, D., Zhai, J., Ji, Z. (2017). Lead-free BNT-based composite materials: enhanced depolarization temperature and electromechanical behavior. *Dalton Transactions*, 46 (44), 15340–15353. <https://doi.org/10.1039/c7dt02846f>
- Liu, T. Y., Ma, Y., Yu, S. F., Shi, J., Xue, S. (2011). The effect of ball milling treatment on structure and porosity of maize starch granule. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 12 (4), 586–593. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2011.06.009>
- Eltouby, P., Shyha, I., Li, C., Khaliq, J. (2021). Factors affecting the piezoelectric performance of ceramic-polymer composites: A comprehensive review. *Ceramics International*, 47 (13), 17813–17825. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2021.03.126>
- Donnelly, N. J., Shrout, T. R., Randall, C. A. (2007). Addition of a Sr, K, Nb (SKN) Combination to PZT(53/47) for High Strain Applications. *Journal of the American Ceramic Society*, 90 (2), 490–495. <https://doi.org/10.1111/j.1551-2916.2006.01450.x>
- Widanarto, W., Wulandari, R., Rahmawati, D., Cahyanto, W. T., Sari, K., Effendi, M. et al. (2024). Microwave irradiation-induced yield enhancement of coconut shell biomass-derived graphene-like material. *Physica Scripta*, 99 (6), 065949. <https://doi.org/10.1088/1402-4896/ad4691>
- Mansouri, B., Rafiei, M., Ebrahimzadeh, I., Naeimi, F., Barekat, M. (2023). The effect of milling time and heat treatment on the synthesis of the Cr_2AlC MAX phase. *Canadian Metallurgical Quarterly*, 63 (3), 970–980. <https://doi.org/10.1080/00084433.2023.2251210>
- Effendi, M., Solihah, E., Kurniawan, C., Cahyanto, W. T., Widanarto, W. (2020). Transformation of Structure, Magnetic Properties and Microwave Absorption Capability in Nd-Doped Strontium Hexaferite. *Key Engineering Materials*, 855, 255–260. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.855.255>
- Moya, B. R., Iglesias-Jaime, A. C., Silva, A. C., Peláiz-Barranco, A., Guerra, J. D. S. (2024). Structural and dielectric features of $(\text{Bi}_{0.5}\text{Na}_{0.5})_{1-x}\text{Ba}_x\text{TiO}_3$ lead-free ferroelectric ceramics: An approach to the phase diagram. *Journal of Applied Physics*, 135 (16). <https://doi.org/10.1063/5.0191402>
- Pham, T. H. N., Hua, P. H., Ngo, Q. B., Ha, T. K., Nguyen, V. T., Nguyen, C. T., Pham, Q. A. (2024). The effect of carbon black percentage on mechanical properties and microstructure of polybutylene terephthalate/polyamide 6/carbon black blends. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (12 (127)), 20–26. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.299067>

23. Krauss, W., Schütz, D., Mautner, F. A., Feteira, A., Reichmann, K. (2010). Piezoelectric properties and phase transition temperatures of the solid solution of $(1-x)(\text{Bi}_{0.5}\text{Na}_{0.5})\text{TiO}_{3-x}\text{SrTiO}_3$. *Journal of the European Ceramic Society*, 30 (8), 1827–1832. <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2010.02.001>
24. Lin, D., Kwok, K. W. (2010). Effect of Li-substitution on piezoelectric and ferroelectric properties of $(\text{Bi}_{0.92}\text{Na}_{0.92-x}\text{Li}_x)_{0.5}\text{Ba}_{0.06}\text{Sr}_{0.02}\text{TiO}_3$ lead-free ceramics. *Current Applied Physics*, 10 (4), 1196–1202. <https://doi.org/10.1016/j.cap.2010.02.009>
25. Widanarto, W., Effendi, M., Cahyanto, W. T., Ghoshal, S. K., Kurniawan, C., Handoko, E., Alaydrus, M. (2023). Enhanced Microwave Absorption Quality of Bio-Silica-Barium-Ferrite Composites: Interplay of Fe^{3+} and Si^{4+} . *Molekul*, 18 (2), 266. <https://doi.org/10.20884/1.jm.2023.18.2.7326>
26. Bongkarn, T., Chootin, S., Pinitsoontorn, S., Maensiri, S. (2016). Excellent piezoelectric and ferroelectric properties of KNLNTS ceramics with Fe_2O_3 doping synthesized by the solid state combustion technique. *Journal of Alloys and Compounds*, 682, 14–21. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2016.04.285>
27. Yang, Y., Lin, C.-S., Chen, J.-F., Hu, L., Cheng, W.-D. (2014). Magnetoelectric effects at the interfaces between nonmagnetic perovskites: Ab initio prediction. *EPL (Europhysics Letters)*, 105 (2), 27002. <https://doi.org/10.1209/0295-5075/105/27002>
28. Widanarto, W., Sahar, M. R., Ghoshal, S. K., Arifin, R., Rohani, M. S., Effendi, M. (2013). Thermal, structural and magnetic properties of zinc-tellurite glasses containing natural ferrite oxide. *Materials Letters*, 108, 289–292. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2013.06.109>
29. Widanarto, W., Rahayu, F. M., Ghoshal, S. K., Effendi, M., Cahyanto, W. T. (2015). Impact of ZnO substitution on magnetic response and microwave absorption capability of strontium-natural nanoferrites. *Results in Physics*, 5, 253–256. <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2015.09.002>
30. Cech, O., Castkova, K., Chladil, L., Dohnal, P., Cudek, P., Libich, J., Vanysek, P. (2017). Synthesis and characterization of $\text{Na}_2\text{Ti}_6\text{O}_{13}$ and $\text{Na}_2\text{Ti}_6\text{O}_{13}/\text{Na}_2\text{Ti}_3\text{O}_7$ sodium titanates with nanorod-like structure as negative electrode materials for sodium-ion batteries. *Journal of Energy Storage*, 14, 391–398. <https://doi.org/10.1016/j.est.2017.07.008>
31. Libich, J., Minda, J., Sedlářiková, M., Vondrák, J., Máca, J., Fibek, M. et al. (2020). Sodium-ion batteries: Electrochemical properties of sodium titanate as negative electrode. *Journal of Energy Storage*, 27, 101150. <https://doi.org/10.1016/j.est.2019.101150>
32. Husin, H., Pontas, K., Yuliana Sy, Y. S., Syawaliah, S., Saisa, S. (2014). Synthesis of Nanocrystalline of Lanthanum Doped NaTaO_3 and Photocatalytic Activity for Hydrogen Production. *Journal of Engineering and Technological Sciences*, 46 (3), 318–327. <https://doi.org/10.5614/j.eng.technol.sci.2014.46.3.6>
33. Huang, N., Liu, H., Hao, H., Yao, Z., Cao, M., Xie, J. (2019). Energy storage properties of MgO-doped $0.5\text{Bi}_{0.5}\text{Na}_{0.5}\text{TiO}_3-0.5\text{SrTiO}_3$ ceramics. *Ceramics International*, 45 (12), 14921–14927. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2019.04.227>

АНОТАЦІЇ
MATERIALS SCIENCE

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.308704

**ПОЛІПШЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ТА ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ АЛЮМІНІЄВОЇ МАТРИЦІ
КОМПОЗИТНОГО АРМОВАНОГО $Al_2O_3/SiCw/Mg$ ПОРОШКУ (с. 6–14)**

I. K. G. Sugita, K. Suarsana, N. P. G. Suardana, Rudi Sunoko

Технологічний прогрес вимагає розробки матеріалів, які мають особливі характеристики, такі як висока міцність, жорсткість, мала вага та хороша теплопровідність за низькою ціною. Розробка гібридних метало-матричних композитів є найважливішою галуззю передової технології матеріалознавства.

Це дослідження визначає алюмінієві матричні композити (АМС), зміцнені оксидом алюмінію (Al_2O_3), карбідом кремнію (SiCw) і додаванням магнію (Mg). Матриця виготовлена з порошку чистого алюмінію на 90 %, а комерційно доступні армуючі матеріали включають Al_2O_3 , SiCw і Mg. Цілі включають зміну фракції армування та матриці, температуру та час витримки спікання. Вибір процесу виготовлення зразка з використанням порошкової технології з подальшим процесом спікання при різних температурах, а саме 350, 450 і 550 °C з варіаціями часу витримки 1, 2 і 3 години. Метою даного дослідження було визначення впливу варіації частки армування та обробки спіканням на властивості зносостійкості, твердості та теплопровідності алюмінієвих матричних композитів.

Результати показали, що співвідношення складу арматури та алюмінію під час спікання суттєво вплинуло на механічні властивості. Зносостійкість матеріалу демонструє відмінні показники, а саме зносостійкість 0,000065 г/с, твердість 45,234 VHN і теплопровідність 184,855 Вт/м °C, при композиції армуючого складу 10 % Al_2O_3 , 10 % SiCw і 20 % Mg і температурою спікання 550 °C. Це вказує на те, що алюмінієвий матричний композит, посилений $Al_2O_3/(SiCw/Mg)$, здатний витримувати навантаження тертя завдяки низькій швидкості зношування, хорошій твердості та хорошій теплопровідності. Цей матеріал дуже підходить для використання як трибологічний матеріал, гальмівний елемент, особливо гальмівний барабан.

Ключові слова: алюмінієвий гібридний композит, гібрид порошкової металургії Al_2O_3 , SiCw/Mg, теплопровідність, зносостійкість.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.310143

**ВПЛИВ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ НА СТРУКТУРУ ТА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПСЕВДО
 α -ТИТАНОВОГО СПЛАВУ У ЗВАРНОМУ З'ЄДНАННІ (с. 15–25)**

В. Ю. Білоус, Е. Л. Вржичевський, В. А. Костін, Т. Г. Таранова, В. Л. Зворикін, К. О. Зворикін

Об'єктом дослідження був матеріал зварного шва нового сплаву Ti-6.1Al-6.0Zr-6.3Sn-3.2Mo-1.1Nb-1.2Si, який був отриманий ЕПЗ.

Електронно-променево зварювання (ЕПЗ) забезпечує швидке розплавлення і охолодження з кристалізацією за значних температурних градієнтів. Для псевдо α -титанового сплаву це зумовлює появу значних залишкових напружень в з'єднанні і обумовлює специфіку дисперсійного розпаду β -фази. Залишкові напруження зменшуються попереднім підігрівом, знімаються термообробкою. Така обробка критично впливає на формування структури та фазового складу зварного шва і зони термічного впливу електронного променя, може утворювати макродефекти, небажані фази і структурні стани.

Визначені умови термообробки, для доведення зварного з'єднання зі складнолегованого псевдо α -титанового сплаву до необхідного рівня механічних характеристик. Порівняно структуру, морфологію фаз, елементний склад та механічні характеристики зварних з'єднань без додаткової термічної обробки, з попереднім локальним нагрівом 400 °C, з додатковим післязварювальним локальним відпалом за $T_T=750$ °C, $t_T=4$ хвилини та послідовним відпалом у печі за $T_T=850$ °C, $t_T=60$ хвилин. Встановлено, що повний цикл термічної обробки зварного з'єднання забезпечує найвищі характеристики міцності та пластичності, але і локальна термічна обробка дозволяє отримати бездефектне з'єднання із задовільними характеристиками для менш відповідальних виробів. Показано, як термічна обробка псевдо α -титанового сплаву дозволяє позбавитись небажаних фазових утворень $(Zr,Ti)_5Si_3Al$ з перетворенням їх до $(Zr,Ti,Nb,Mo)_3SiAl$.

Отримані результати перспективні для застосування у виробництві деталей двигунів авіаційної техніки.

Ключові слова: електронно-променево зварювання, титанові сплави, термічна обробка, механічні властивості, дисперсійне зміцнення.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.310239

**ВАЖЛИВІ ФАКТОРИ ДЛЯ СТРУКТУРИ ТА МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПРИ
ВІДНОВЛЕННІ КОМПОНЕНТІВ З ОСНОВНОГО МЕТАЛУ ТЕРМІЧНИМ РОЗПИЛЕННЯМ ТА
ЗВАРЮВАННЯМ (с. 26–33)**

Raden Dadan Ramdan, Yasya Nur Muhammad, Sihol Christian Lumbantoruan, Irma Pratiwi, Bambang Widyanto, Aditianto Ramelan

Чавун широко використовується в обробній промисловості завдяки високій міцності і зносостійкості. Однак крихка природа чавуну призводить до частого руйнування тріщин під час формування або використання. Серед методів відновлення, які можна використовувати, – термічне напилення та процес зварювання. Незважаючи на те, що як зварювання, так і термічне розпилення застосовувалися для різних процесів відновлення металу, проте на цю тему знайдено дуже обмежені технічні звіти, а також наукові статті. Таким чином, оптимальні умови відновлення металу обома процесами ще потрібно дослідити. Ці роботи зосереджені на порівнянні термічного напилення та методу зварювання для цілей відновлення чавуну. В експерименті з процесом термічного розпилення акцент було приділено оптимізації відстані розпилення щодо властивостей мікроструктури та твердості.

З іншого боку, в експериментальних роботах зі зварювання основна увага приділяється впливу конструкції канавок на мікроструктуру та твердість. Кожна зміна дослідження проводиться для отримання оптимальних результатів відновлення тріщин. Було помічено, що процес термічного розпилення створює меншу площу зони теплового впливу (ЗТВ) порівняно з процесом зварювання, тому має меншу критичну площу. Найвище значення твердості методу термічного розпилення становить 101,33, показане на відстані 30 см. Між тим, найвище значення твердості зони ЗТВ методу зварювання становить 600 HV, показане зразком А. Було встановлено, що з поточних експериментальних робіт процес термічного розпилення дає кращі результати, ніж процес зварювання. Однак значення твердості зразка, отриманого методом зварювання та термічного напилення, залежить від типу використовуваного матеріалу покриття.

Ключові слова: чавун, відновлення, термонапилення, зварювання, відстань напилення, мікроструктура, твердість.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.299764

ВПЛИВ ПРОЦЕСУ ПЕРЕРОБКИ ВІДХОДІВ ЛАТУНІ НА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПРИ ЛИТТІ ПО ВИТОПЛЮВАНИХ МОДЕЛЯХ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ МАТЕРІАЛІВ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС (с. 34–41)

Erwin, Didik Sugiyanto, Danny Faturahman, Yefri Chan, Husen Asbanu

Дана робота являє собою експериментальне дослідження з аналізу характеристик і механічних властивостей процесу лиття сплаву з переробленої латуні, який буде використовуватися в якості матеріалу для зубчастих коліс. В даний час обсяг залишків виробництва та відходів латунних сплавів продовжує збільшуватися. Також зростає потреба в латунних зубчастих колесах, тому для забезпечення хорошої якості та ефективного використання енергії, особливо в процесі лиття, необхідні технології виробництва екологічно чистих матеріалів. У процесі лиття використовується електрична піч, у якій відбувається плавлення латунних сплавів за температури від 526 до 900 °C протягом 1 години та формування для виготовлення випробувальних зразків. Результати мікроструктурних випробувань зернистості сплавів з переробленої латуні варіюються від 74,63 мкм до 84,57 мкм. Максимальна одержана межа міцності при розтягуванні становить до 225,2 МПа, максимальна межа плинності – до 179,8 МПа, максимальне подовження – до 7,3 %. Шорсткість сплавів з переробленої латуні має максимальне значення Ra (середня шорсткість) до 0,836 мкм. Перевірка результатів проводилася шляхом порівняння механічних властивостей виробів з латуні SAC 302 і результатів дослідження. Дані показують, що значення максимальної межі плинності переробленої латуні становить 179,8 МПа, матеріалу латуні SAC 302 – 175 МПа, але значення межі міцності при розтягуванні переробленої латуні набагато нижче, ніж у виробів з SAC 302. Дані результати можуть бути корисними у промисловості для використання сплавів з переробленої латуні для виготовлення зубчастих коліс, оскільки за межею плинності вони близькі до виробів з латуні SAC 302. В результаті дослідження отримані сплави з переробленої латуні, які є екологічно чистими, ефективними з точки зору енергоспоживання при плавлі та мають гарну межу плинності. Результати даного дослідження можуть бути корисні при виробництві деталей зубчастих коліс з латунних сплавів.

Ключові слова: екологічний, виготовлення зубчастих коліс, лиття по виплавлюваних моделях, механічні властивості, переробка латуні.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.306262

ПОРІВНЯННЯ ЗНАЧЕНЬ ТВЕРДОСТІ ТА МІКРОСТРУКТУРИ AL6061 ПРИ ГОРИЗОНТАЛЬНОМУ ВІДЦЕНТРОВОМУ ЛИТТІ З ОХОЛОДЖЕННЯМ ФОРМИ ТА БЕЗ НЬОГО (с. 42–48)

Agus Suprpto, Dewi Izzatus Tsamroh, Djoko Andrijono, Septian Dwi Irianto Maswain

Об'єктом дослідження є процес горизонтального відцентрового лиття сплаву Al6061. Як правило, литі вироби мають ливарні дефекти, тому для зниження ймовірності виникнення ливарних дефектів застосовується процес горизонтального відцентрового лиття. У деяких процесах лиття, особливо при виготовленні циліндричних зразків, трапляються такі ливарні дефекти, як пористість. Тому для вирішення цієї проблеми було застосовано горизонтальне відцентрове лиття. Результати випробувань показують, що середнє значення твердості зразків з алюмінію 6061, отриманих при відцентровому литті виробів з водяним охолодженням, становило 73,3 HR_E, тоді як середнє значення твердості зразків з алюмінію 6061, отриманих при відцентровому литті виробів без водяного охолодження, становило 86,4 HR_E. Результати дослідження мікроструктури показують, що зернистість виробів відцентрового лиття з водяним охолодженням становить 82,5 мкм, тоді як без водяного охолодження вона досягає 75 мкм. Більш високі значення твердості були отримані в зразках без охолодження форми. Це пов'язано з тим, що теплопровідність у формах без охолодження вища порівняно з формами, які піддавалися водяному охолодженню. Чим вище теплопровідність форми, тим швидше відбувається процес охолодження литого виробу. Процес лиття горизонтальним відцентровим методом може бути використаний для виготовлення циліндричних запасних частин.

Ключові слова: лиття металу, горизонтальне відцентрове лиття, охолодження форми, твердість, мікроструктура, Al6061.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.307930

ПОКРАЩЕННЯ ДІЕЛЕКТРИЧНИХ ТА ІМПЕДАНСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНИХ Bi_{0,5}Na_{0,5}TiO₃-SrTiO₃ МАТЕРІАЛІВ БЕЗ Pb, МОДИФІКОВАНИХ Fe₂O₃ (с. 49–57)

Mukhtar Effendi, Nugraheni Puspita Rini, Candra Kurniawan, Wahyu Tri Cahyanto, Wahyu Widanarto

У центрі уваги цього дослідження – п'єзoeлектричний матеріал Bi_{0,5}Na_{0,5}TiO₃-SrTiO₃, легований Fe₂O₃. Це важливо для пошуку екологічно прийнятних п'єзoeлектричних матеріалів. Ці дослідження спрямовані на отримання п'єзoeлектричного матеріалу, що не

містить свинець, оскільки свинець є екологічно нешкідливим матеріалом. Альтернативним рішенням є п'єзоелектричний матеріал на основі $\text{Bi}_{0.5}\text{Na}_{0.5}\text{TiO}_3\text{-SrTiO}_3$, який у даному випадку легований матеріалом Fe_2O_3 . Для визначення оптимального складу утвореного матеріалу проведено дослідження легovanого Fe_2O_3 п'єзоелектричного матеріалу $\text{Bi}_{0.5}\text{Na}_{0.5}\text{TiO}_3\text{-SrTiO}_3$, виготовленого методом твердофазної реакції. Варіації легування дорівнюють 0; 2,5; 5; 7,5; і 10 в мол.%. Дослідження проводили за допомогою рентгенівської дифракційної спектроскопії, скануючого електронного мікроскопа і LCR-метра. Fe_2O_3 , допований $\text{Bi}_{0.5}\text{Na}_{0.5}\text{TiO}_3\text{-SrTiO}_3$, утворив нову сполуку у формі $\text{FeBi}_5\text{Ti}_3\text{O}_{15}\text{-Na}_2\text{Ti}_3\text{O}_7\text{-SrTiO}_3$ з кубічною, орторомбічною та моноклінною кристалічною структурою, а також збільшенням розміру кристалів із додаванням легуючих добавок, виключаючи при 5% моль і 7,5% моль. $\text{FeBi}_5\text{Ti}_3\text{O}_{15}\text{-Na}_2\text{Ti}_3\text{O}_7\text{-SrTiO}_3$ також утворює різні розміри частинок, які становлять 0,88–8,23 мкм. З отриманих даних оптимальний склад $\text{Bi}_{0.5}\text{Na}_{0.5}\text{TiO}_3\text{-SrTiO}_3$, легovanого Fe_2O_3 , становив 2,5 мол.% Fe_2O_3 через те, що він має найвищу діелектричну проникність (ϵ_r) і температуру Кюрі (T_c), а також найнижчий імпеданс матеріалу (Z) з ϵ_r 12,037 при T_c 400 °C і Z 135 кОм. Висока п'єзоелектричність, про яку свідчить високе значення діелектричної проникності та температури Кюрі, можлива завдяки наявності більшої кількості іонів натрію у фазі $\text{Na}_2\text{Ti}_3\text{O}_7$. Іони натрію є іонами з хорошою електричною здатністю накопичувати. Збільшення діелектричної проникності в п'єзоелектрику BNT-ST, отриманому шляхом додавання Fe_2O_3 , показує, що цей матеріал можна використовувати як замітник п'єзоелектричних матеріалів на основі свинцю, щоб він був безпечним для навколишнього середовища. П'єзоелектричний матеріал BNT-ST, легований Fe_2O_3 , отриманий у результаті цього дослідження, може бути застосований для отримання електроенергії з оптимальним значенням при механічному тиску.

Ключові слова: п'єзоелектрик, BNT-ST, легування Fe_2O_3 , електричні властивості, температура Кюрі.