

ABSTRACT AND REFERENCES

MATERIALS SCIENCE

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.336978

**THE OPTIMIZATION OF BAGASSE LEAF-BASED
POROUS CARBON-TIN OXIDE ORGANIC CAPACITOR
USING TAGUCHI METHOD (p. 6–18)**

Nasir Widha Setyanto

Brawijaya University, Malang, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-3729-3750>**Sugiono Sugiono**

Brawijaya University, Malang, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1605-5124>**Yudy Surya Irawan**

Brawijaya University, Malang, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7593-8931>**Willy Satrio Nugroho**

Brawijaya University, Malang, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8288-6287>**I Nyoman Gede Wardana**

Brawijaya University, Malang, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3146-9517>

The object of this study is the carbon-based organic capacitors, derived from bagasse leaves from the Kebon Agung sugar factory, Malang, Jawa Timur, serving as a sustainable precursor material. The challenge of optimizing the performance of bagasse leaf-based organic capacitors has been a significant barrier in advancing sustainable electronic components. This study aims to develop a quality framework for synthesizing these capacitors by systematically optimizing the parameters using the Taguchi method. Traditional methods often lead to inconsistent performance and high variability, making it difficult to achieve reliable results. By applying the Taguchi orthogonal array, this study identified key factors and optimal levels, effectively reducing experimental efforts while ensuring robust performance. The carbonization of bagasse leaves was conducted using direct combustion with thinner and 70% methanol as liquid burners. Capacitance tests revealed stable values ranging from 0.8897 nF to 0.9281 nF across trials, demonstrating consistent and reproducible behavior. Thermal noise evaluation showed slight temperature variations (69.01°C to 72.01°C), indicating the influence of temperature on electron mobility within the dielectric materials. The systematic approach of the Taguchi method minimized variability and enhanced the capacitors' reliability under varying thermal conditions. The method's focus on robustness and quality control ensured consistent capacitance values and improved overall capacitor performance. Compared to traditional methods, the Taguchi method facilitated a thorough exploration of the design space with fewer experiments. This study underscores the importance of systematic optimization in capacitor design, offering a reliable pathway to integrate sustainable materials into advanced electronic components. The results provide valuable insights into the effects of different parameters on performance metrics, enhancing the development of high-quality organic capacitors.

Keywords: Taguchi method, bagasse leaves, organic capacitor, tin oxide, dielectric material.

References

- Widyasari, W. B., Putra, L. K., Ranomahera, M. R. R., Puspitasari, A. R. (2021). Historical Notes, Germplasm Development, and Molecular Approaches to Support Sugarcane Breeding Program in Indonesia. *Sugar Tech*, 24 (1), 30–47. <https://doi.org/10.1007/s12355-021-01069-0>
- Murali, P., Puthira Prathap, D. (2016). Technical Efficiency of Sugarcane Farms: An Econometric Analysis. *Sugar Tech*, 19 (2), 109–116. <https://doi.org/10.1007/s12355-016-0456-8>
- Setianingsih, T., Susilo, B., Mutrofin, S., Ismuyanto, B., Endaryana, A. N., Yoniansyah, Y. N. (2022). Influence of sequential pyrolysis methods on the properties of the carbon nanostructure (CNS) from sugarcane leaf biomass. *Journal of Applied Research and Technology*, 20 (4), 460–471. <https://doi.org/10.22201/icat.24486736e.2022.20.4.1324>
- Dina, A. A., Tama, I. P., Gapsari, F., Ayunin, A. Q. (2025). An Analysis Of Life Cycle Sustainability Assessment On The Sugar Production Process In Pt X. *International Journal of Mechanical Engineering Technologies and Applications*, 6 (1), 83–99. <https://doi.org/10.21776/mechta.2025.006.01.7>
- Batutah, M. A., Nguyen, D. T. A. (2025). The Effect Of Exhaust Emissions L, O₂, Co, Co₂ And Hydrocarbon For Performance Of All New Ertiga Automotive. *International Journal of Mechanical Engineering Technologies and Applications*, 6 (1), 48–57. <https://doi.org/10.21776/mechta.2025.006.01.5>
- Alamsah, A., Wahjudi, A., Moon, P. J., Hamidi, N., Widhiyanuriyawan, D. (2025). Spatial and Temporal Potential of Current Energy and Wave Height in Indonesian sea. *International Journal of Mechanical Engineering Technologies and Applications (MECHTA)*, 6 (2), 249–258. <https://doi.org/10.21776/MECHTA.2025.006.02.8>
- Wardani, A. K., Utami, C. P., Hermanto, M. B., Sutrisno, A., Nurtyastuti, F. (2023). Bioethanol Production from Sugarcane Molasses by Fed-Batch Fermentation Systems Using Instant Dry Yeast. *Microbiology and Biotechnology Letters*, 51 (2), 184–190. <https://doi.org/10.48022/mbi.2301.01012>
- Singh, O. K. (2020). Application of Kalina cycle for augmenting performance of bagasse-fired cogeneration plant of sugar industry. *Fuel*, 267, 117176. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117176>
- Soenoko, R., Purnami, P. (2019). Bowl bladed hydrokinetic turbine with additional steering blade numerical modeling. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (8 (100)), 24–36. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.173986>
- Qiram, I., Hamidi, N., Yuliati, L., Nugroho, W. S., Wardana, I. N. G. (2022). The analysis of Si/Al ratio on CGA decomposition in Indonesian traditional Kreweng pottery coffee roaster to maximize coffee acidity. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (6 (118)), 22–37. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.260258>
- Satrio, N. W., Winarto, Sugiono, Wardana, I. N. G. (2020). The role of turmeric and bicnat on hydrogen production in porous tofu waste suspension electrolysis. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 12 (7), 2417–2429. <https://doi.org/10.1007/s13399-020-00803-0>
- Mohanty, A., Jaihindh, D., Fu, Y.-P., Senanayak, S. P., Mende, L. S., Ramadoss, A. (2021). An extensive review on three dimension architectural Metal-Organic Frameworks towards supercapacitor application. *Journal of Power Sources*, 488, 229444. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2020.229444>
- Wang, H., Niu, H., Wang, H., Wang, W., Jin, X., Wang, H. et al. (2021). Micro-meso porous structured carbon nanofibers with ultra-high surface area and large supercapacitor electrode capacitance. *Journal of Power Sources*, 482, 228986. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2020.228986>
- Klapiszewski, Ł., Szalaty, T. J., Graś, M., Moszyński, D., Buchwald, T., Lota, G., Jesionowski, T. (2020). Lignin-based dual component additives as effective electrode material for energy management systems. *International Journal of Biological Macromolecules*, 165, 268–278. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.09.191>
- Wijayanti, W., Sasongko, M. N., Purnami (2016). The calorific values of solid and liquid yields consequenced by temperatures of mahogany

- pyrolysis. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 11 (2), 917–921. Available at: https://www.arnpjournals.org/jeas/research_papers/rp_2016/jeas_0116_3427.pdf
16. Chauhan, P. R., Raveesh, G., Pal, K., Goyal, R., Tyagi, S. K. (2023). Production of biomass derived highly porous activated carbon: A solution towards in-situ burning of crop residues in India. *Biore-source Technology Reports*, 22, 101425. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2023.101425>
 17. Freddi, A., Salmon, M. (2018). Introduction to the Taguchi Method. *Design Principles and Methodologies*, 159–180. https://doi.org/10.1007/978-3-319-95342-7_7
 18. Oluwo, A., Alozie, N. S., Ogunmola, B. Y., Ajibade, A. T., Rajan, J., Jose, S., Oke, S. A. (2025). An analysis of the optimisation of leaf spring parameters using the aspect ratio-based taguchi-pareto method. *International Journal of Mechanical Engineering Technologies and Applications (MECHTA)*, 6 (2), 189–201. <https://doi.org/10.21776/MECHTA.2025.006.02.3>
 19. Wardhani, A. K., Novareza, O., Purnami, P., Mohamad, E. B. (2025). Combination Of OEE And FMEA Methods To Analyze The Effectiveness Of Production Machines. *International Journal of Mechanical Engineering Technologies and Applications (MECHTA)*, 6 (2), 163–175. <https://doi.org/10.21776/MECHTA.2025.006.02.1>
 20. Ogunmola, B. Y., Onitiri, M. A., Alozie, N. S., Oluwo, A., Okwo, J. U., Rajan, J. et al. (2025). Application Of Entropy Multicriteria Method For Parametric Classification Of The Wire Electrical Discharge Machining Process Using Nitinol-60 Shape Memory Alloy. *International Journal of Mechanical Engineering Technologies and Applications (MECHTA)*, 6 (2), 268–282. <https://doi.org/10.21776/MECHTA.2025.006.02.10>
 21. Karmakar, B., Dhawane, S. H., Halder, G. (2018). Optimization of biodiesel production from castor oil by Taguchi design. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6 (2), 2684–2695. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.04.019>
 22. Absike, H., Essalhi, Z., Labrim, H., Hartiti, B., Baaalla, N., Tahiri, M. et al. (2021). Synthesis of CuO thin films based on Taguchi design for solar absorber. *Optical Materials*, 118, 111224. <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2021.111224>
 23. Vyas, M., Jain, M., Pareek, K., Garg, A. (2019). Multivariate optimization for maximum capacity of lead acid battery through Taguchi method. *Measurement*, 148, 106904. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.106904>
 24. Chen, W.-H., Carrera Uribe, M., Kwon, E. E., Lin, K.-Y. A., Park, Y.-K., Ding, L., Saw, L. H. (2022). A comprehensive review of thermoelectric generation optimization by statistical approach: Taguchi method, analysis of variance (ANOVA), and response surface methodology (RSM). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 169, 112917. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112917>
 25. Fadly, M. S., Purnowidodo, A., Setyarini, P. H., Mustafa, M., Hamzah, M. S. (2025). Effect Of Penetration Positions Bullets On A Perforated Plate Against Ballistic Resistance Of Fiber Metal Laminate (FML). *International Journal of Mechanical Engineering Technologies and Applications*, 6 (1), 25–33. <https://doi.org/10.21776/mechta.2025.006.01.3>
 26. Pribadi, A. F., Alamsyah, F. A., Hidayat, W., Prayudi, M. E., Maszykur, M. A., Solihin, I., Raharjo, R. (2024). Effect Of Variation Of Magnetic Induction Solenoid Values On Tensile And Impact Strength For Welding Between Low Carbon Steel And Medium Carbon Steel. *International Journal of Mechanical Engineering Technologies and Applications*, 5 (2), 139–150. <https://doi.org/10.21776/mechta.2024.005.02.3>
 27. Purnami, P., Satrio Nugroho, W., Hamidi, N., W. W., Schulze, A. A., Wardana, I. N. G. (2024). Double deep Q network intelligent adaptive control for highly efficient dynamic magnetic field assisted water electrolysis. *International Journal of Hydrogen Energy*, 59, 457–464. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2024.01.321>
 28. Raharjo, R., Darmadi, D. B., Gapsari, F., Setyarini, P. H., Alamsyah, F. A. (2024). Modification Of Woven Dendrocalamus Asper In Composite Applications. *International Journal of Mechanical Engineering Technologies and Applications*, 5 (2), 174–185. <https://doi.org/10.21776/mechta.2024.005.02.6>
 29. Sartika, D., Widhiyanuriyawan, D., Sugeng Widodo, A., Purnami, Wardana, I. N. G. (2025). The role of graphene Oxide's aromatic rings in activated carbon made from banana leaves (ACBL) and Fe₃O₄ in hydrogen production. *Carbon Resources Conversion*, 8 (1), 100239. <https://doi.org/10.1016/j.crcon.2024.100239>
 30. Tanbar, F., Darmawan, M. R. I., Wibisono, M. M., Ariyadi, H. M., Nugraha, A. D., Wiranata, A., Muflikhun, M. A. (2025). The Utilization Of Geothermal Silica Waste In Additive Manufacturing With Stereolithography Resin For Detailed Prototyping Process. *International Journal of Mechanical Engineering Technologies and Applications (MECHTA)*, 6 (2), 211–219. <https://doi.org/10.21776/MECHTA.2025.006.02.5>
 31. Purnami, P., Satrio Nugroho, W., Wardana, I. N. G., Permanasari, A. A., Sukarni, S., Gandidi, I. M., Tuan Abdullah, T. A., Johari, A. (2025). The impact of radio-green light interaction on hydrogen evolution reaction inhibition of carbon based electrophotocatalyst. *Carbon Resources Conversion*, 8 (3), 100308. <https://doi.org/10.1016/j.crcon.2025.100308>
 32. Nandiyanto, A. B. D., Oktiani, R., Ragadhita, R. (2019). How to Read and Interpret FTIR Spectroscopy of Organic Material. *Indonesian Journal of Science and Technology*, 4 (1), 97. <https://doi.org/10.17509/ijost.v4i1.15806>
 33. Fratini, S., Nikolka, M., Salleo, A., Schweicher, G., Sirringhaus, H. (2020). Charge transport in high-mobility conjugated polymers and molecular semiconductors. *Nature Materials*, 19 (5), 491–502. <https://doi.org/10.1038/s41563-020-0647-2>
 34. Noh, Y., Kim, Y., Han, H., Jung, W., Kim, J. G., Kim, Y. et al. (2019). Improved Ion-Transfer Behavior and Capacitive Energy Storage Characteristics of SnO₂ Nanospacer-Incorporated Reduced Graphene Oxide Electrodes. *ChemElectroChem*, 6 (9), 2503–2509. <https://doi.org/10.1002/celec.201900543>
 35. Al-Sehemi, A. G., Al-Ghamdi, A. A., Dishovsky, N., Nickolov, R. N., Atanasov, N. T., Manoilova, L. T. (2017). Effect of Activated Carbons on the Dielectric and Microwave Properties of Natural Rubber Based Composites. *Materials Research*, 20 (5), 1211–1220. <https://doi.org/10.1590/1980-5373-mr-2017-0378>
 36. Itoi, H., Ito, M., Kasai, Y., Tanabe, Y., Suzuki, R., Hasegawa, H. et al. (2021). Study of the pore size effect on the charge storage of hydrous RuO₂ nanoparticles supported within the pores of activated carbon. *Solid State Sciences*, 111, 106472. <https://doi.org/10.1016/j.solidstasciences.2020.106472>
 37. Purnami, P., Willy Satrio, N., Sofi'i, Y. K., Wardana, I. N. G. (2024). The impact of mechanical vibration at cathode on hydrogen yields in water electrolysis. *Journal of Power Sources*, 615, 235075. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2024.235075>
 38. Subagyo, T., Widhiyanuriyawan, D., Widodo, A. S., Nugroho, W. S., Wardana, I. N. G. (2025). The development of rice husk based TiO₂-SiO₂ hybrid organic thin film photovoltaic cell. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (12 (134)), 17–24. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.324761>
 39. Unno, Y., Bach, E., Dandoy, J., Fadeyev, V., Fleta, C., Jessiman, C. et al. (2025). Analysis of MOS capacitor with p layer with TCAD simulation. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 1071, 170045. <https://doi.org/10.1016/j.nima.2024.170045>
 40. Al-Haik, M. Y., Zakaria, M. Y., Hajj, M. R., Haik, Y. (2016). Storage of energy harvested from a miniature turbine in a novel organic capacitor. *Journal of Energy Storage*, 6, 232–238. <https://doi.org/10.1016/j.est.2016.01.008>

41. Chen, Y.-Y., Tsai, C.-T., Huang, W.-L., Chien, C.-W., Kao, P.-C., Chu, S.-Y. (2021). Investigation and optimization of the charge generation layer (CGL) in tandem OLEDs using Taguchi's orthogonal arrays and nondestructive capacitance-voltage (C-V) measurements. *Synthetic Metals*, 274, 116713. <https://doi.org/10.1016/j.synthmet.2021.116713>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.341823

DEFINING THE ENERGY PROPERTIES OF CdI₂ FILM BY EXPERIMENTAL AND THEORETICAL METHODS (p. 19–24)

Mykola Solovyyov

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7678-4049>

Ihor Semkiv

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3432-8779>

Andrii Kashuba

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3650-3892>

This study investigates the compound CdI₂, which is actively used as a component in scintillation detectors for the detection of alpha-particle radiation. The research addresses the task to correlate experimental results with theoretically determined parameters of CdI₂ films. One of the primary objectives for studying this compound is to determine its electronic structure and optical properties.

The CdI₂ thick film was obtained by cleaving from a bulk sample. The average thickness of the CdI₂ thick film is 2 μm. The optical properties of CdI₂ thick film were investigated by optical absorption spectra. The absorption spectrum fitting method was applied to estimate the optical band gap and Urbach energy of the CdI₂ thick film. This method requires only the measurement of the absorbance spectrum, and no additional information, such as the film thickness or reflectance spectra. The optical band gaps and Urbach energy obtained for the CdI₂ thick film are 3.05 eV and 5.17 eV, respectively.

Electronic band structure and energy properties were studied for CdI₂. We calculated the electron dispersion at high symmetry directions of the Brillouin zone and density of electron estimated with the generalized gradient approximation (GGA). A Perdew–Burke–Ernzerhof functional for solids (PBEsol) was applied. Based on the dispersion of energy bands, the predominant type of conductivity in the studied materials was determined.

Consistency of theoretical and experimental parameters exceeds that reported in previous studies, which supports the use of CdI₂ as a model compound, especially in the search and design of novel crystalline materials. The established parameters could be used in the development of components for a scintillation detector.

Keywords: band gap, Urbach energy, absorption spectra, density functional theory.

References

- Lavrentyev, A. A., Gabrelian, B. V., Vu, T. V., Ananchenko, L. N., Myronchuk, G. L., Parasyuk, O. V. et al. (2019). Electronic and optical properties of quaternary sulfide Tl₂HgSnS₄, a promising optoelectronic semiconductor: A combined experimental and theoretical study. *Optical Materials*, 92, 294–302. <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2019.04.032>
- Rudysh, M. Y., Pryshko, I. A., Shchepanskyi, P. A., Stadnyk, V. Y., Brezvin, R. S., Kogut, Z. O. (2022). Optical and electronic parameters of Rb₂SO₄ crystals. *Optik*, 269, 169875. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2022.169875>
- Vu, T. V., Luzhnyi, I. V., Myronchuk, G. L., Bekenev, V. L., Bohdanyuk, M. S., Lavrentyev, A. A. et al. (2021). DFT calculations and experimental studies of the electronic structure and optical properties of Tl₄PbI₆. *Optical Materials*, 114, 110982. <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2021.110982>
- Rudysh, M. Ya. (2022). Electronic structure, optical and elastic properties of AgAlS₂ crystal under hydrostatic pressure. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 148, 106814. <https://doi.org/10.1016/j.mssp.2022.106814>
- Ai, R., Guan, X., Li, J., Yao, K., Chen, P., Zhang, Z., Duan, X., Duan, X. (2017). Growth of Single-Crystalline Cadmium Iodide Nanoplates, CdI₂/MoS₂ (WS₂, WSe₂) van der Waals Heterostructures, and Patterned Arrays. *ACS Nano*, 11 (3), 3413–3419. <https://doi.org/10.1021/acsnano.7b01507>
- Qasrawi, A. F., Hamarsheh, A. A. (2021). Au/CdBr₂/SiO₂/Au Straddling-Type Heterojunctions Designed as Microwave Multiband Pass Filters, Negative Capacitance Transistors, and Current Rectifiers. *Physica Status Solidi (a)*, 218 (22). <https://doi.org/10.1002/pssa.202100327>
- Popov, G., Mattinen, M., Hatanpää, T., Vehkamäki, M., Kemell, M., Mizohata, K. et al. (2019). Atomic Layer Deposition of PbI₂ Thin Films. *Chemistry of Materials*, 31 (3), 1101–1109. <https://doi.org/10.1021/acs.chemmater.8b04969>
- Kashuba, A., Zhydashkevsky, Y., Semkiv, I., Franiv, A., Kushnir, O. (2018). Photoluminescence in the solid solution In_{0.5}Tl_{0.5}I. *Ukrainian Journal of Physical Optics*, 19 (1), 1. <https://doi.org/10.3116/16091833/19/1/1/2018>
- Rybak, O. V. (2024). Thermodynamic Analysis of the Equilibrium Vapor Phase Composition of the Cd–I₂ System. *Journal of Nano- and Electronic Physics*, 16 (1), 01021-1-01021–01024. [https://doi.org/10.21272/jnep.16\(1\).01021](https://doi.org/10.21272/jnep.16(1).01021)
- Kaur, H. (2014). Growth and formation of polytypes in crystals of cadmium iodide. *Applied Science Research*, 6 (1), 64–66. Available at: <https://www.scholarsresearchlibrary.com/articles/growth-and-formation-of-polytypes-in-crystals-of-cadmium-iodide.pdf>
- Bai, X., Jiang, Q., Song, P., Jia, Z.-P., Lu, S., Gao, Z.-K. et al. (2023). Study of electronic and optical properties of CdI₂ modulated by electric field: a first-principles study. *Optics Express*, 31 (19), 31504. <https://doi.org/10.1364/oe.497833>
- Momin, M. D. A., Islam, Md. A., Nesa, M., Sharmin, M., Rahman, M. J., Bhuiyan, A. H. (2021). Effect of M (Ni, Cu, Zn) doping on the structural, electronic, optical, and thermal properties of CdI₂: DFT based theoretical studies. *AIP Advances*, 11 (5). <https://doi.org/10.1063/5.0050145>
- Tao, L., Huang, L. (2017). Computational design of enhanced photocatalytic activity of two-dimensional cadmium iodide. *RSC Advances*, 7 (84), 53653–53657. <https://doi.org/10.1039/c7ra09687a>
- Tyagi, P., Vedeshwar, A. G. (2002). Grain size dependent optical properties of CdI₂ films. *The European Physical Journal Applied Physics*, 19 (1), 3–13. <https://doi.org/10.1051/epjap:2002043>
- Kariper, İ. A. (2016). Structural, optical and porosity properties of CdI₂ thin film. *Journal of Materials Research and Technology*, 5 (1), 77–83. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2015.10.005>
- Tyagi, P., Vedeshwar, A. G., Mehra, N. C. (2001). Thickness dependent optical properties of CdI₂ films. *Physica B: Condensed Matter*, 304 (1–4), 166–174. [https://doi.org/10.1016/s0921-4526\(01\)00392-1](https://doi.org/10.1016/s0921-4526(01)00392-1)
- Yan, Z., Yin, K., Yu, Z., Li, X., Li, M., Yuan, Y. et al. (2020). Pressure-induced band-gap closure and metallization in two-dimensional transition metal halide CdI₂. *Applied Materials Today*, 18, 100532. <https://doi.org/10.1016/j.apmt.2019.100532>
- Kunyo, I. M., Kashuba, A. I., Karpa, I. V., Stakhura, V. B., Sveleba, S. A., Katerynychuk, I. M. et al. (2018). The band energy structure of (N(CH₃)₄)₂ZnCl₄ crystals. *Journal of Physical Studies*, 22 (3). <https://doi.org/10.30970/jps.22.3301>

19. Perdew, J. P., Ruzsinszky, A., Csonka, G. I., Vydrov, O. A., Scuse-ria, G. E., Constantin, L. A. et al. (2008). Restoring the Density-Gradient Expansion for Exchange in Solids and Surfaces. *Physical Review Letters*, 100 (13). <https://doi.org/10.1103/physrevlett.100.136406>
20. Ilchuk, H., Semkiv, I., Huminilovych, R., Yuryev, S., Rudysh, M., Kashuba, A. (2025). Effect of deposition time on the absorption spectra of CdS nanostructured films. *Journal of Physical Studies*, 29 (3). <https://doi.org/10.30970/jps.29.3702>
21. Ghobadi, N. (2013). Band gap determination using absorption spectrum fitting procedure. *International Nano Letters*, 3 (1). <https://doi.org/10.1186/2228-5326-3-2>
22. Kashuba, A. I. (2023). Influence of metal atom substitution on the electronic and optical properties of solid-state $\text{Cd}_{0.75}\text{X}_{0.25}\text{Te}$ (X= Cu, Ag and Au) solutions. *Physics and Chemistry of Solid State*, 24 (1), 92–101. <https://doi.org/10.15330/pcss.24.1.92-101>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.341820

OPTIMIZATION OF Fe-Cr-Mn ALLOY COMPOSITION AS IMPLANT MATERIAL FOR MECHANICAL PROPERTIES AND CORROSION RESISTANCE (p. 25–35)

Ratna Kartikasari

Institut Teknologi Nasional Yogyakarta, Caturtunggal,
Depok, Sleman, DIY, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7601-0430>

Sugiarto Kadiman

Institut Teknologi Nasional Yogyakarta, Caturtunggal,
Depok, Sleman, DIY, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-9574-3079>

Rivan Muhfidin

Institut Teknologi Nasional Yogyakarta, Caturtunggal,
Depok, Sleman, DIY, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1713-1782>

Ihwanul Aziz

National Research and Innovation Agency (BRIN),
Caturtunggal, Sleman, Yogyakarta, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6382-6032>

The object of this study is Fe-Cr-Mn stainless steel alloys containing 0.23–0.41 wt.% C and 17.59–18.36 wt.% Cr with varying Mn content. The development of nickel-free stainless steels addresses the drawbacks of conventional implant materials such as titanium alloys, Co-Cr alloys, and AISI 316L stainless steel, which often suffer from biocompatibility issues, toxicity, and mechanical incompatibility with bone. The Fe-Cr-Mn alloys were produced by high-frequency induction melting and subsequently tested for microstructure, mechanical, wear, and corrosion properties. SEM-EDS revealed a transition from ferritic structure (2.5% Mn) to duplex $\alpha+\gamma$ (5% Mn) and predominantly austenitic structure (7.5% Mn). Mechanical testing showed that hardness and tensile strength peaked at 2.5% Mn, while ductility and impact toughness improved with increasing Mn, reaching their highest values at 5% Mn. Wear resistance increased significantly at higher Mn levels due to the formation of stable tribo-oxides and the strengthening effect of the austenitic matrix. Electrochemical testing in 0.9% NaCl solution showed that Fe-18Cr-5Mn possessed the best corrosion resistance, attributed to the stability of its passive film, while excessive Mn (7.5%) caused passivation breakdown through Mn-hydroxide formation. Overall, Fe-18Cr-5Mn exhibited the best synergy between strength, toughness, wear resistance, and corrosion protection under physiological saline conditions, establishing it as a promising nickel-free stainless steel for next-generation biomedical implant materials.

Keywords: Fe-Cr-Mn alloys, implant materials, microstructure, mechanical properties, corrosion resistance, biocompatibility.

References

1. Borgioli, F., Galvanetto, E., Bacci, T. (2021). Surface Modification of a Nickel-Free Austenitic Stainless Steel by Low-Temperature Nitriding. *Metals*, 11 (11), 1845. <https://doi.org/10.3390/met11111845>
2. Pani, R., Behera, R. R., Roy, S. (2023). Corrosion Behaviour of Metallic Biomaterials in Physiological Environments. *Handbook of Research on Corrosion Sciences and Engineering*, 246–273. <https://doi.org/10.4018/978-1-6684-7689-5.ch009>
3. Radice, S., Neto, M. Q., Fischer, A., Wimmer, M. A. (2021). Nickel-free high-nitrogen austenitic steel outperforms CoCrMo alloy regarding tribocorrosion in simulated inflammatory synovial fluids. *Journal of Orthopaedic Research*, 40 (6), 1397–1408. <https://doi.org/10.1002/jor.25174>
4. Ansary, S., Mondal, S., Sekh, M., Haque, R., Haidar, S. (2022). Indigenous Production of Porous 316L through Powder Metallurgy and Investigation of their Mechanical Properties. *Key Engineering Materials*, 933, 32–41. <https://doi.org/10.4028/p-2fqtl1>
5. Patnaik, L., Ranjan Maity, S., Kumar, S. (2020). Status of nickel free stainless steel in biomedical field: A review of last 10 years and what else can be done. *Materials Today: Proceedings*, 26, 638–643. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.12.205>
6. Xu, S., Gao, F., Han, J., Xiong, S., Duan, X., Zha, F., Yu, B. et al. (2022). Corrosion Behaviors of Fe-22Cr-16Mn-0.55N High-Nitrogen Austenitic Stainless Steel in 3.5% NaCl Solution. *Coatings*, 12 (11), 1769. <https://doi.org/10.3390/coatings12111769>
7. Jiang, G., Wu, M., Yang, X., Wang, H., Zhu, Y. (2024). Effect of Mn addition on microstructure and mechanical properties of GX₄₀CrNiSi₂₅₋₁₂ austenitic heat resistant steel. *China Foundry*, 21 (3), 205–212. <https://doi.org/10.1007/s41230-024-3134-6>
8. Nayak, C., Anand, A., Kamboj, N., Kantonen, T., Kajander, K., Tupala, V. et al. (2024). Tribological behavior and biocompatibility of novel Nickel-Free stainless steel manufactured via laser powder bed fusion for biomedical applications. *Materials & Design*, 242, 113013. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2024.113013>
9. Xu, N., Chen, G., Zhang, Q., Hu, H., Xu, G. (2025). Study on the Deformation Behavior and Mechanical Properties of Lightweight Economic Stainless Steels with Varying Al and Mn Contents. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, 9 (7), 206. <https://doi.org/10.3390/jmmp9070206>
10. Patra, S., Agrawal, A., Mandal, A., Podder, A. S. (2021). Characteristics and Manufacturability of Duplex Stainless Steel: A Review. *Transactions of the Indian Institute of Metals*, 74 (5), 1089–1098. <https://doi.org/10.1007/s12666-021-02278-7>
11. Li, Z., Luo, H., Hou, L., Zhao, Q., Wang, X., Chang, Y. (2025). Effect of Mn addition on the corrosion behavior of FeCrNiMn Si alloys in simulated seawater environment. *Corrosion Science*, 252, 112978. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2025.112978>
12. Hsu, K.-M., Chien, W.-L., Lin, C.-S. (2023). The improved stability and corrosion resistance of the passive film on Mn-containing FeCrNiCoMnx high entropy alloys by multiple pickling. *Journal of Alloys and Compounds*, 962, 171141. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2023.171141>
13. Wang, Z., Yan, Y., Wu, Y., Zhang, Y., Zhao, X., Su, Y., Qiao, L. (2023). Recent research progress on the passivation and selective oxidation for the 3d-transition-metal and refractory multi-principal element alloys. *Npj Materials Degradation*, 7 (1). <https://doi.org/10.1038/s41529-023-00410-0>
14. Kartikasari, R., Kadiman, S., Muhfidin, R., Aziz, I., Triyono, T. (2024). Development of Fe-Cr-C alloys with high Mn content for bone implant. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (12 (131)), 31–38. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.312442>
15. Kartikasari, R., Subardi, A., Muhfidin, R., Aziz, I., Effendy, M., Triyono, T., Diharjo, K. (2023). Development of Fe-13.8Cr-8.9Mn alloy for steel biomaterials. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (12 (126)), 6–15. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.293009>

16. Ladani, L., Palmieri, M. (2024). Review of the Use of Metals in Biomedical Applications: Biocompatibility, Additive Manufacturing Technologies, and Standards and Regulations. *Metals*, 14 (9), 1039. <https://doi.org/10.3390/met14091039>
17. Romanczuk-Ruszk, E., Krawczyńska, A., Łukaszewicz, A., Józwik, J., Tofil, A., Oksiuta, Z. (2023). Bioactivity, Cytotoxicity, and Tribological Studies of Nickel-Free Austenitic Stainless Steel Obtained via Powder Metallurgy Route. *Materials*, 16 (24), 7637. <https://doi.org/10.3390/ma16247637>
18. Bosch, J., Martin, U., Aperador, W., Bastidas, J. M., Röss, J., Bastidas, D. M. (2021). Corrosion Behavior of High-Mn Austenitic Fe–Mn–Al–Cr–C Steels in NaCl and NaOH Solutions. *Materials*, 14 (2), 425. <https://doi.org/10.3390/ma14020425>
19. Jung, J., Ma, B. (2002). Pat. No. US8043446B2. High manganese duplex stainless steel having superior hot workabilities and method manufacturing thereof. Available at: <https://patents.google.com/patent/US8043446B2/en>
20. Yu, K. P., Jiang, H., Xu, X. Y., Huang, M. X. (2024). Design of corrosion-resistant alloys for preventing oxidation-induced nanoscale Cr-depletion by inclusion engineering. *Materials & Design*, 244, 113146. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2024.113146>
21. Eliaz, N. (2019). Corrosion of Metallic Biomaterials: A Review. *Materials*, 12 (3), 407. <https://doi.org/10.3390/ma12030407>
22. Rybalchenko, O., Anisimova, N., Martynenko, N., Rybalchenko, G., Belyakov, A., Shchetinin, I. et al. (2023). Biocompatibility and Degradation of Fe–Mn–5Si Alloy after Equal-Channel Angular Pressing: In Vitro and In Vivo Study. *Applied Sciences*, 13 (17), 9628. <https://doi.org/10.3390/app13179628>
23. Ribeiro, J. J. K., Turin, A. R., Nuñez de la Rosa, Y. E., Quadros, P. V. C. A., Calabokis, O. P., Lepienski, C. M. et al. (2023). Mechanical Characterization at Nanoscale of Austenite, Ferrite, and Sigma Phases via Hardness Measurement and Fretting Wear Behavior of a Duplex Stainless Steel. *Metals*, 13 (5), 864. <https://doi.org/10.3390/met13050864>
24. Omiogbemi, I. M.-B., Yawas, D. S., Das, A., Afolayan, M. O., Dauda, E. T., Kumar, R. et al. (2022). Mechanical properties and corrosion behaviour of duplex stainless steel weldment using novel electrodes. *Scientific Reports*, 12 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-26974-6>
25. Liu, S., Ge, Y., Liu, H., Liu, J., Feng, Y., Chen, C., Zhang, F. (2022). Tensile Properties and Microstructure Evolutions of Low-Density Duplex Fe–12Mn–7Al–0.2C–0.6Si Steel. *Materials*, 15 (7), 2498. <https://doi.org/10.3390/ma15072498>
26. Yan, X., Wu, Y., Zhang, M., Liu, S., Sun, L., Feng, Y. (2022). Microstructure Evolution and Mechanical Properties of Ferrite–Austenite Duplex Fe–Mn–Al–(Cu)–C Steel under Different Annealing Temperatures. *Materials*, 15 (22), 8271. <https://doi.org/10.3390/ma15228271>
27. Zhang, C., Bao, X., Hao, M., Chen, W., Zhang, D., Wang, D. et al. (2022). Hierarchical nano-martensite-engineered a low-cost ultra-strong and ductile titanium alloy. *Nature Communications*, 13 (1). <https://doi.org/10.1038/s41467-022-33710-1>
28. Du, C., Wang, X. (2025). Intergranular precipitation evolution and its effect on the impact toughness of Super304H austenitic stainless steel weld metal during long-term aging at 650°C. *Journal of Materials Research and Technology*, 36, 7304–7317. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2025.04.312>
29. Misra, R. D. K. (2023). A perspective in the understanding of strength–toughness combination during processing of engineering ferrous alloys. *Materials Technology*, 38 (1). <https://doi.org/10.1080/10667857.2023.2278000>
30. He, J., Lv, J., Song, Z., Wang, C., Feng, H., Wu, X. et al. (2023). Maintaining Excellent Mechanical Properties via Additive Manufacturing of Low-N 25Cr-Type Duplex Stainless Steel. *Materials*, 16 (22), 7125. <https://doi.org/10.3390/ma16227125>
31. Maier, A., Rühr, M., Stephan, M., Frankl, S., Roth, S., Schmidt, M. (2023). Tailoring material properties of duplex stainless steel by DED-LB/M and in situ alloying with elemental powders. *Journal of Laser Applications*, 35 (4). <https://doi.org/10.2351/7.0001119>
32. Ma, H., Zhao, Y., Feng, Y., Yu, Z., Sun, J., Song, H. et al. (2024). Effect of Mn content on corrosion and mechanical behaviors of Fe-based medium entropy alloy. *Journal of Materials Research and Technology*, 30, 5632–5651. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2024.04.246>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.341529

DETERMINING THE PROPERTIES OF GAS TURBINE ENGINE COMPONENTS MANUFACTURED FROM VT6 TITANIUM ALLOY POWDER (Ti-6Al-4V) BY USING ADDITIVE ELECTRON BEAM TECHNOLOGY (p. 36–46)

Vladyslav Matviichuk

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

Vladimir Nesterenkov

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

This study considers components manufactured by additive electron beam manufacturing (EBM) from Ti-6Al-4V (VT6) titanium alloy powder. This material is one of the most widely used in aircraft engine production due to its combination of high weldability, strength, as well as resistance to fatigue loading. The task addressed is to achieve consistently high density, structural uniformity, and stable operational properties in gas turbine engines (GTEs) components manufactured from VT6 alloy by the EBM method.

To fabricate specimens, a digital model was constructed in Materialise Magics, while layer-by-layer analysis and optimization of process parameters were carried out in Simufact Additive. Using the EBM process, experimental specimens were produced, including four GTE blades, a turbine wheel, and control samples.

The chemical composition confirmed full compliance of the parts with the VT6 (Ti-6Al-4V) alloy standard. The microstructure is characterized by a lamellar α' -phase with a minor fraction of β -phase; the α -phase exhibits an acicular morphology with crystal thickness ranging from 0.5 to 1.5 μm . A uniform distribution of alloying elements, as well as the absence of segregation and porosity, was observed. The average microhardness value HV_{100} was determined to be 3.71 GPa.

The results confirmed that the manufactured parts met the requirements for GTE components, demonstrating high density, strength, and operational reliability. The integration of simulation with subsequent EBM fabrication, optimization of process parameters, and the use of produced VT6 powder enabled the production of parts with zero porosity and stable microstructure. The components also showed controlled texture and high geometric accuracy. This confirms the effectiveness of the proposed approach and highlights its potential for scaling into serial production of critical components with predictable performance characteristics.

Keywords: additive electron beam technology, VT6 alloy, Ti-6Al-4V, gas turbine engine, properties.

References

1. Matviichuk, V. A., Nesterenkov, V. M., Berdnikova, O. M. (2022). Additive electron beam technology for manufacture of metal products from powder materials. *The Paton Welding Journal*, 2022 (2), 16–25. <https://doi.org/10.37434/tpwj2022.02.03>

2. Campbell, F. C. (2006) *Manufacturing Technology for Aerospace Structural Materials*. Elsevier Science. <https://doi.org/10.1016/b978-1-85617-495-4.x5000-8>
3. Thomas, D., Gleadall, A. (2022). Advanced metal transfer additive manufacturing of high temperature turbine blades. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 120 (9-10), 6325–6335. <https://doi.org/10.1007/s00170-022-09176-2>
4. Whittaker, M. (2011). Titanium in the Gas Turbine Engine. *Advances in Gas Turbine Technology*. <https://doi.org/10.5772/21524>
5. Yan, Z., Zhu, L., Yang, Z., Xue, P. (2021). Study on the geometrical dimensions and mechanical properties of Ti-6Al-4V alloy blade by laser metal deposition. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 114 (3-4), 695–707. <https://doi.org/10.1007/s00170-021-06669-4>
6. Chen, Z. B., Cui, X. L., Yu, M. R., Jiang, G. R., Liu, F. Q., Yang, X. Y., Chen, J. J. (2025). Microstructure evolution and strengthening mechanisms of laser directed energy deposited TA15 titanium alloy with synchronous ultrasonic impact. *Journal of Alloys and Compounds*, 1 037, 182407. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2025.182407>
7. Akhonin, S., Nesterenkov, V., Pashynskiy, V., Matviichuk, V., Motrunich, S., Berezos, V., Klochkov, I. (2024). Determining technological parameters for obtaining ta15 titanium alloy blanks with improved mechanical characteristics using the electron-beam 3D printing method. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (12 (129)), 36–45. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.306613>
8. Nesterenkov, V., Akhonin, S., Klochkov, I., Matviichuk, V., Berezos, V., Motrunich, S. (2025). High cyclic fatigue behavior of 3D-printed titanium alloy TA15. *Welding in the World*, 69 (3), 717–725. <https://doi.org/10.1007/s40194-025-01945-3>
9. Matviichuk, V. A., Nesterenkov, V. M. (2025). Application of additive electron-beam technologies for aviation and medical needs. *Welding and Related Technologies*, 7–13. <https://doi.org/10.1201/9781003518518-2>
10. Manufacture of Spherical Powder. Available at: <https://powdermet.com.ua/en/>
11. Powder Materials Manufactured by MULTIFLEX LLC. Available at: <https://powdermet.com.ua/en/>
12. Matviichuk, V. A., Nesterenkov, V. M. (2020). Additive electron beam equipment for layer-by-layer manufacture of metal products from powder materials. *The Paton Welding Journal*, 2020 (2), 41–46. <https://doi.org/10.37434/tpwj2020.02.08>
13. Matviichuk, V., Nesterenkov, V., Berdnikova, O. (2022). Determining the influence of technological parameters of the electron-beam surfacing process on quality indicators. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (12 (115)), 21–30. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.253473>
14. Matviichuk, V., Nesterenkov, V., Berdnikova, O. (2024). Determining the influence of technological parameters of electron beam surfacing process on the microstructure and microhardness of Ti-6Al-4V alloy. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (12 (127)), 6–12. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.297773>
15. Kafle, B. P. (2020). *Chemical Analysis and Material Characterization by Spectrophotometry*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/c2017-0-02426-6>
16. Sola, A., Nouri, A. (2019). Microstructural porosity in additive manufacturing: The formation and detection of pores in metal parts fabricated by powder bed fusion. *Journal of Advanced Manufacturing and Processing*, 1 (3). <https://doi.org/10.1002/amp2.10021>
17. Materialise Magics. Available at: <https://www.materialise.com/en/industrial/software/magics-data-build-preparation>
18. Simufact Additive Product Documentation. Available at: <https://simcompanion.hexagon.com/customers/s/article/simufact-additive-documents-doc12479>
19. Matviichuk, V. A. (2025). Compensation of spatial deformation in products at additive electron beam surfacing. *The Paton Welding Journal*, 2025 (1), 10–14. <https://doi.org/10.37434/tpwj2025.01.02>
20. Wang, P., Sin, W., Nai, M., Wei, J. (2017). Effects of Processing Parameters on Surface Roughness of Additive Manufactured Ti-6Al-4V via Electron Beam Melting. *Materials*, 10 (10), 1121. <https://doi.org/10.3390/ma10101121>
21. BT6 - Grade 5 truba meditsinskiy titan. Available at: <https://evek.org/vt6-vt6s-vt6ch-splav-truba.html>
22. Galarraga, H., Warren, R. J., Lados, D. A., Dehoff, R. R., Kirka, M. M., Nandwana, P. (2017). Effects of heat treatments on microstructure and properties of Ti-6Al-4V ELI alloy fabricated by electron beam melting (EBM). *Materials Science and Engineering: A*, 685, 417–428. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2017.01.019>
23. Estupinán-López, F., Orquiz-Muela, C., Gaona-Tiburcio, C., Cabral-Miramontes, J., Bautista-Margulis, R. G., Nieves-Mendoza, D. et al. (2023). Oxidation Kinetics of Ti-6Al-4V Alloys by Conventional and Electron Beam Additive Manufacturing. *Materials*, 16 (3), 1187. <https://doi.org/10.3390/ma16031187>
24. Weiss, I., Froes, F. H., Eylon, D., Welsch, G. E. (1986). Modification of alpha morphology in Ti-6Al-4V by thermomechanical processing. *Metallurgical Transactions A*, 17 (11), 1935–1947. <https://doi.org/10.1007/bf02644991>
25. Hrabé, N., Quinn, T. (2013). Effects of processing on microstructure and mechanical properties of a titanium alloy (Ti-6Al-4V) fabricated using electron beam melting (EBM), Part 2: Energy input, orientation, and location. *Materials Science and Engineering: A*, 573, 271–277. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2013.02.065>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.341821

DETERMINING THE STRUCTURAL FEATURES OF THE CHROMIUM AND COPPER ALLOY MATERIAL OBTAINED BY ELECTRON BEAM WELDING (p. 47–59)

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>

Anastasiia Zvorykina

National Technical University of Ukraine
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4635-5742>

Volodymyr Zvorykin

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

Leonid Zvorykin

National Technical University of Ukraine
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6951-6564>

This study considers a welded joint between copper and chromium. The task addressed is to enable the formation of a copper and chromium joint based on the selection of the alloy material's optimal structure.

Based on scanning electron microscopy, micro-X-ray spectral analysis, and microhardness measurement, the properties of the welded joint material in a copper and chromium joint were investigated. The joint was obtained by electron beam welding by preheating one of the metals while removing additional heat supply from the other. It was established that a moving electron beam leads to the formation of different types of microstructure in the alloy material with significant concentration heterogeneity: quasi-dendritic; linearly elongated; scaly; cellular; quasi-spherical.

Welding with a stationary, linearly deployed along the joint, electron beam with preheating of one of the metals and providing additional heat removal from the other enables the formation of a concentrically uniform weld with a quasi-spherical microstructure of copper-chromium eutectic.

The directional nature of the copper-based grains, which are elongated in the direction across the welded joint, which corresponds to the direction of additional heat removal from one of the welded metals, was revealed. The material obtained by a stationary, linearly deployed along the joint, electron beam under the mode $U_{acc} = 60$ kV, $I_{eb} = 40$ mA, $P = 5 \cdot 10^{-3}$ Pa for a duration of 7 seconds with preheating of chromium to 900°C and providing additional heat removal from copper was determined as the alloy material of the welded joint between copper and chromium with an optimal structure.

The results could be used while making copper-chromium joints by fusion welding in a vacuum with regulation of the speed of movement and focusing of the source of thermal energy supply.

Keywords: weld, electron beam welding, microstructure, eutectic, phase formations, temperature gradient.

References

1. Kharchenko, G. K., Fal'chenko, Yu. V., Novomlinets, O. A., Gorbun', V. F. (2002). Diffuzionnaya svarka v vakuume khroma s med'yu. *Avtomaticeskaya svarka*, 7 (592), 41–42. Available at: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/89012>
2. Paul, H., Chulist, R., Lityńska-Dobrzyńska, L., Prażmowski, M., Faryna, M., Mania, I. et al. (2021). Interfacial reactions and microstructure related properties of explosively welded tantalum and steel sheets with copper interlayer. *Materials & Design*, 208, 109873. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2021.109873>
3. Kharchenko, G. K., Fal'chenko, Yu. V., Arsenyuk, V. V., Polovetskiy, E. V. (2002). Udarnaya svarka v vakuume alyuminiya s med'yu. *Avtomaticeskaya svarka*, 9 (594), 50–51. Available at: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/89045>
4. Singh, R., Singh, S., Kanigalpula, P. K. C., Saini, J. S. (2020). Electron beam welding of precipitation hardened CuCrZr alloy: Modeling and experimentation. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 30 (8), 2156–2169. [https://doi.org/10.1016/s1003-6326\(20\)65368-7](https://doi.org/10.1016/s1003-6326(20)65368-7)
5. Ansara, I., Ivanchenko, V., Dreval, L. (2016). Cr-Cu Binary Phase Diagram Evaluation. *MSI Eureka*, 68, 20.19588.2.8. <https://doi.org/10.7121/msi-eureka-20.19588.2.8>
6. Zhou, Z., Zhou, T., Chai, L., Tu, J., Wang, Y., Huang, W. et al. (2015). Microstructure and Liquid Phase Separation of CuCr Alloys Treated by High Current Pulsed Electron Beam. *Materials Research*, 18 (suppl 1), 34–39. <https://doi.org/10.1590/1516-1439.323714>
7. Shan, L., Yang, L., Wang, Y. (2022). Improving the high temperature mechanical performance of Cu–Cr alloy induced by residual nano-sized Cr precipitates. *Materials Science and Engineering: A*, 845, 143250. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2022.143250>
8. ISO 10387:1994(en). Metal chrome – Specification and conditions of delivery. Available at: <https://www.iso.org/ru/standard/18451.html>
9. DSTU HOST 859:2003. Mid. Marky (HOST 859-2001, IDT). Available at: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=93267
10. Yarmolenko, M. V. (2018). Analytically Solvable Differential Diffusion Equations Describing the Intermediate Phase Growth. *Metallfizika I Noveishie Tekhnologii*, 40 (9), 1201–1207. <https://doi.org/10.15407/mfint.40.09.1201>
11. Korzhyk, V. M., Khaskin, V. Yu., Kvasnytskyi, V. V., Ganushchak, O. V., Hos, I. D., Peleshenko, S. I. et al. (2023). Preparing Permanent Joints of Titanium Alloys with Steel (A Review). *Materials Science*, 59 (2), 129–137. <https://doi.org/10.1007/s11003-024-00753-2>
12. Liu, L., Sun, D., Huang, T., Zhang, Y., Li, Y., Zhang, J., Fu, H. (2018). Directional Solidification Under High Thermal Gradient and Its Application in Superalloys Processing. *Acta Metallurgica Sinica*, 54 (5), 615–626. <https://doi.org/10.11900/0412.1961.2018.00075>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.336978

ОПТИМІЗАЦІЯ ПОРИСТОГО ОРГАНІЧНОГО КОНДЕНСАТОРА НА ОСНОВІ ЛИСТЯ БАГАСИ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ ТАГУЧІ (с. 6–18)

Nasir Widha Setyanto, Sugiono Sugiono, Yudi Surya Irawan, Willy Satrio Nugroho, I Nyoman Gede Wardana

Об'єктом цього дослідження є вуглецеві органічні конденсатори, отримані з листя багаси з цукрового заводу Кебон Агунг, Маланг, Джава-Тімур, які служать екологічно чистим матеріалом-попередником. Проблема оптимізації продуктивності органічних конденсаторів на основі листя жома була значною перешкодою на шляху розвитку екологічних електронних компонентів. Це дослідження має на меті розробити структуру якості для синтезу цих конденсаторів шляхом систематичної оптимізації параметрів за допомогою методу Тагучі. Традиційні методи часто призводять до непослідовної продуктивності та високої мінливості, що ускладнює досягнення надійних результатів. Застосовуючи ортогональний масив Тагучі, це дослідження визначило ключові фактори та оптимальні рівні, ефективно зменшуючи експериментальні зусилля, забезпечуючи надійну продуктивність. Карбонізацію листя багаси проводили за допомогою прямого спалювання розчинником і 70% метанолу як рідких паливників. Випробування ємності показали стабільні значення в діапазоні від 0,8897 нФ до 0,9281 нФ під час випробувань, демонструючи послідовну та відтворювану поведінку. Оцінка теплового шуму показала незначні коливання температури (від 69,01°C до 72,01°C), що вказує на вплив температури на рухливість електронів у діелектричних матеріалах. Систематичний підхід методу Тагучі мінімізував варіабельність і підвищив надійність конденсаторів за різних температурних умов. Зосередженість методу на надійності та контролі якості забезпечила узгоджені значення ємності та покращила загальну продуктивність конденсатора. У порівнянні з традиційними методами, метод Тагучі полегшив ретельне дослідження простору дизайну з меншою кількістю експериментів. Це дослідження підкреслює важливість систематичної оптимізації конструкції конденсаторів, пропонуючи надійний шлях для інтеграції стійких матеріалів у передові електронні компоненти. Результати дають цінну інформацію про вплив різних параметрів на показники продуктивності, сприяючи розробці високоякісних органічних конденсаторів.

Ключові слова: метод Тагучі, багасовий лист, органічний конденсатор оксид олова, діелектричний матеріал.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.341823

ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПЛІВКИ CdI_2 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИМ І ТЕОРЕТИЧНИМ МЕТОДАМИ (с. 19–24)

М. В. Соловійов, І. В. Семків, А. І. Кашуба

Об'єктом дослідження є сполука CdI_2 , яка активно використовується як компонента сцинтиляційних детекторів для виявлення випромінювання α -частинок. Робота спрямована на вирішення проблематики кореляції між експериментальними результатами і теоретично визначеними параметрами плівки CdI_2 . Одним з основних завдань дослідження зазначеного матеріалу є визначення його електронної структури та оптичних властивостей. Плівку CdI_2 було отримано шляхом сколювання з об'ємного зразка. Середня товщина плівки CdI_2 становить 2 мкм. Оптичні властивості плівки CdI_2 досліджувалися при кімнатній температурі за допомогою оптичних спектрів поглинання. Метод апроксимації спектру поглинання було застосовано для оцінки оптичної ширини забороненої зони та енергії Урбаха товстої плівки CdI_2 . Цей метод вимагає лише вимірювання спектру поглинання та жодної додаткової інформації, такої як: товщина плівки або спектр відбиття. Оптична ширина забороненої зони та енергія Урбаха, отримана для плівки CdI_2 , становила 3,05 еВ та 5,17 еВ, відповідно. Для CdI_2 досліджується електронна зонна структура та енергетичні властивості. Дисперсія енергетичних зон вздовж високосиметричних точок зони Бріллюена та щільність електронних станів було визначено за допомогою узагальненого градієнтного наближення (GGA). Був використаний функціонал Пердю-Берка-Ернцгерофа для твердих тіл (PBEsol). На основі дисперсії енергетичних зон було визначено переважаючий тип провідності в досліджуваних матеріалах. Узгодженість теоретичних і експериментальних параметрів є вищою за результати, представлені в літературі. Це дозволить використати сполуку CdI_2 в якості моделюючих зразків, зокрема для пошуку та проектування нових кристалів. Встановлені параметри можуть бути використані при розробці компонент сцинтиляційного детектора.

Ключові слова: заборонена зона, енергія Урбаха, спектри оптичного поглинання, теорія функціоналу густини.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.341820

ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДУ СПЛАВУ Fe-Cr-Mn ЯК МАТЕРІАЛУ ДЛЯ ІМПЛАНТАТІВ З ТОЧКИ ЗОРУ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТА КОРОЗІЙНОЇ СТІЙКОСТІ (с. 25–35)

Ratna Kartikasari, Sugiarto Kadiman, Rivan Muhfidin, Ihwanul Aziz

Об'єктом цього дослідження є сплави нержавіючої сталі Fe-Cr-Mn, що містять 0,23–0,41 мас.% С та 17,59–18,36 мас.% Cr з різним вмістом Mn. Розробка безнікелевих нержавіючих сталей усуває недоліки традиційних матеріалів для імплантатів, таких як титанові сплави, сплави Co-Cr та нержавіюча сталь AISI 316L, які часто мають проблеми біосумісності, токсичності та механічної несумісності з кісткою. Сплави Fe-Cr-Mn були виготовлені методом високочастотного індукційного плавлення, а потім випробувані на мікроструктуру, механічні властивості, зносостійкість та корозійність. SEM-EDS виявив перехід від феритної структури (2,5% Mn) до дуплексної $\alpha+\gamma$ (5% Mn) та переважно аустенітної структури (7,5% Mn). Механічні випробування показали, що твердість та міцність

на розрив досягли піку при 2,5% Mn, тоді як пластичність та ударна в'язкість покращувалися зі збільшенням Mn, досягаючи своїх найвищих значень при 5% Mn. Зносостійкість значно зростала при вищих рівнях Mn завдяки утворенню стабільних трибооксидів та зміцнювальному ефекту аустенітної матриці. Електрохімічні випробування в 0,9% розчині NaCl показали, що Fe-18Cr-5Mn має найкращу корозійну стійкість, що пояснюється стабільністю його пасивної плівки, тоді як надмірний вміст Mn (7,5%) спричиняє пасиваційне руйнування через утворення гідроксиду Mn. Загалом, Fe-18Cr-5Mn продемонстрував найкращу синергію між міцністю, в'язкістю, зносостійкістю та захистом від корозії в умовах фізіологічного розчину, що робить його перспективною безнікелевою нержавіючою сталлю для біомедичних матеріалів для імплантатів наступного покоління.

Ключові слова: сплави Fe-Cr-Mn, матеріали для імплантатів, мікроструктура, механічні властивості, корозійна стійкість, біосумісність.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.341529

ВИЗНАЧЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ КОМПОНЕНТІВ ГАЗОТУРБІННОГО ДВИГУНА, ВИГОТОВЛЕНИХ ЗА АДИТИВНОЮ ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВОЮ ТЕХНОЛОГІЄЮ З ПОРОШКІВ ТИТАНОВОГО СПЛАВУ BT6 (Ti-6Al-4V) (с. 36–46)

В. А. Матвійчук, В. М. Нестеренков

Об'єктом дослідження є вироби, виготовлені за адитивною електронно-променевою технологією (EBM) з порошку титанових сплавів BT6 (Ti-6Al-4V). Цей матеріал є одним із найпоширеніших у виробництві авіаційних двигунів завдяки поєднанню високої зварюваності, міцності та стійкості до втомних навантажень. Невирішеною є проблема комплексного забезпечення високої щільності, однорідності структури та стабільності експлуатаційних властивостей компонентів газотурбінних двигунів (ГТД) із сплаву BT6, виготовлених методом EBM.

Для виготовлення зразків створено комп'ютерну модель у Materialise Magics, а пошаровий аналіз і оптимізацію параметрів процесу виконано у Simufact Additive. За технологією EBM надруковано дослідні зразки: чотири лопатки ГТД, колесо турбіни та контрольні зразки. Хімічний склад підтвердив відповідність виробів сплаву BT6 (Ti-6Al-4V). Мікроструктура характеризується пластинчастою α' -фазою з незначною кількістю β -фази; α -фаза має голчасту морфологію товщиною 0,5–1,5 мкм. Встановлено рівномірний розподіл легуючих елементів, відсутність сегрегації й пористості. Середнє значення мікротвердості HV_{100} становить 3,71 ГПа.

Отримані результати підтвердили, що виготовлені деталі відповідають вимогам до компонентів ГТД: висока щільність, міцність та експлуатаційна надійність. Інтеграція цифрового моделювання з подальшим друком за технологією EBM, оптимізація параметрів та використання порошку BT6 забезпечили отримання виробів з нульовою пористістю, стабільною мікроструктурою, керованою текстурою та високою геометричною точністю. Це підтверджує ефективність підходу та відкриває перспективи його масштабування у серійному виробництві відповідальних деталей з прогнозованими характеристиками.

Ключові слова: адитивна електронно-променева технологія, сплав BT6, Ti-6Al-4V, газотурбінний двигун, властивості.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.341821

ВИЗНАЧЕННЯ СТРУКТУРНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ МАТЕРІАЛУ З'ЄДНАННЯ ХРОМУ І МІДІ, ОТРИМАНОВОГО ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВИМ ЗВАРЮВАННЯМ (с. 47–59)

Е. Л. Вржижевський, В. А. Костін, Т. Г. Таранова, А. К. Зворикіна, В. Л. Зворикін, Л. О. Зворикін

Об'єкт дослідження – зварне з'єднання міді і хрому. Вирішувалася проблема забезпечення формування з'єднання міді і хрому на основі вибору оптимальної структури матеріалу зварного шва. На основі використання растрової електронної мікроскопії, мікрорентгеноспектрального аналізу та вимірювання мікротвердості виконано дослідження властивостей матеріалу зварного шва з'єднання міді і хрому. З'єднання отримувалось електронно-променевим зварюванням і застосуванням попереднього підігріву одного з металів і забезпеченням додаткового тепловідводу від іншого. Встановлено, що рухомий пучок електронів обумовлює формування різних типів мікроструктури в матеріалі зварного шва зі значною концентраційною неоднорідністю: квазідендритна; лінійно витягнута; луската; коміркова; квазісферична. Зварювання нерухомим, лінійно розгорнутим вздовж стика, електронним пучком з попереднім підігрівом одного з металів і забезпеченням додаткового тепловідводу від іншого забезпечує формування концентраційно однорідного зварного шва з квазісферичною мікроструктурою мідно-хромової евтектики. Виявлено спрямований характер зерен на основі міді, які витягнуті у напрямку впоперек зварного стику, що відповідає спрямуванню додаткового тепловідводу від одного зі зварюваних металів. Матеріалом шва зварного з'єднання міді і хрому з оптимальною структурою визначено матеріал, що отриманий нерухомим, лінійно розгорнутим вздовж стика, електронним пучком за режимом $U_{acc} = 60$ кВ, $I_{eb} = 40$ мА, $P = 5 \cdot 10^{-3}$ Па тривалістю 7 секунд з попереднім підігрівом хрому до 900°C і забезпеченням додаткового тепловідводу від міді. Результати можуть бути використані за умов виготовлення мідно-хромових з'єднань зварюванням плавленням у вакуумі з регулюванням швидкості руху та фокусування джерела підведення теплової енергії.

Ключові слова: зварний шов, електронно-променеве зварювання, мікроструктура, евтектика, фазові утворення, температурний градієнт.