

ABSTRACT AND REFERENCES

MATERIALS SCIENCE

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.330856

IDENTIFYING THE INFLUENCE OF SOLVOTHERMAL PROCESSING ON THE STRUCTURAL AND ELECTROCHEMICAL PROPERTIES OF GRAPHENE-LIKE MATERIALS FOR SUPERCAPACITOR APPLICATIONS (p. 6–14)**Wahyu Widanarto**Universitas Jenderal Soedirman, Karangwangkal, Purwokerto Utara,
Banyumas, Jawa Tengah, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7342-7791>**Dedi Setiawan**Universitas Jenderal Soedirman, Karangwangkal, Purwokerto Utara,
Banyumas, Jawa Tengah, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-0290-1005>**Mukhtar Effendi**Universitas Jenderal Soedirman, Karangwangkal, Purwokerto Utara,
Banyumas, Jawa Tengah, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3299-8373>**Wahyu Tri Cahyanto**Universitas Jenderal Soedirman, Karangwangkal, Purwokerto Utara,
Banyumas, Jawa Tengah, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4148-0744>**Retno Supriyanti**Universitas Jenderal Soedirman,
Purbalingga, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3035-8719>**Muhammad Syaiful Aliim**Universitas Jenderal Soedirman, Purbalingga, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2267-6058>**Dina Rahmawati**Telkom University, Purwokerto,
Jawa Tengah, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-5127-396X>**Candra Kurniawan**Badan Riset dan Inovasi Nasional,
South Tangerang, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3421-2269>

The object of this study is a graphene-like material synthesized from coconut shell biomass via a solvothermal process using ethylene glycol (98%) as the dispersing medium. Were examined are exfoliated carbon nanosheets intended for use as electrode materials in supercapacitors. The research addresses the problem of improving biomass-derived carbon materials' structural quality and electrochemical performance for energy storage. The solvothermal process was applied at varying ethylene glycol concentrations (1, 3, and 5 mg/ml), and the synthesized samples were compared with an untreated control. The results show that the sample treated with 3 mg/ml (SL-2) exhibited the most favorable characteristics, including reduced interlayer spacing (0.39 nm), formation of thin nanosheets, and decreased oxygen-containing functional groups, as evidenced by TEM, FTIR, and EDS analyses. These structural improvements are attributed to the combined effects of thermal energy and solvent-assisted exfoliation, which facilitated partial deoxygenation and reordering of carbon layers. BET analysis revealed a high specific surface area of 872.886 m²/g, contributing to enhanced

ion accessibility. Electrochemical measurements demonstrated a specific capacitance of 31.50 F/g for SL-2, significantly higher than the untreated sample (6.32 F/g), along with lower internal resistance (1.87 Ω) and prolonged charge-discharge time (39.90 s), indicating improved ion transport and conductivity. These results highlight the potential of this sustainable and tunable method for producing cost-effective, eco-friendly supercapacitor electrodes.

Keywords: graphene-like material, coconut shell biomass, solvothermal treatment, ethylene glycol, electrochemical performance, supercapacitor.

References

- Ahmad, F., Zahid, M., Jamil, H., Khan, M. A., Atiq, S., Bibi, M. et al. (2023). Advances in graphene-based electrode materials for high-performance supercapacitors: A review. *Journal of Energy Storage*, 72, 108731. <https://doi.org/10.1016/j.est.2023.108731>
- Mishra, S., Srivastava, R., Muhammad, A., Amit, A., Chiavazzo, E., Fasano, M., Asinari, P. (2023). The impact of physicochemical features of carbon electrodes on the capacitive performance of supercapacitors: a machine learning approach. *Scientific Reports*, 13 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-33524-1>
- Aimon, A. H., Rahmawati, D., Sutarto, R., Marsudi, M. A., Wibowo, A., Iskandar, F. (2024). Simple and Harmless Fabrication of Reduced Graphene Oxide-Based Transparent Conductive Film Using L-Ascorbic Acid as Reducing Agent. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 49 (7), 10181–10191. <https://doi.org/10.1007/s13369-024-09045-y>
- Pei, S., Cheng, H.-M. (2012). The reduction of graphene oxide. *Carbon*, 50 (9), 3210–3228. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2011.11.010>
- 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>
- Rahman, M. O., Nor, N. B. M., Sawaran Singh, N. S., Sikiru, S., Dennis, J. O., Shukur, M. F. bin Abd. et al. (2023). One-Step Solvothermal Synthesis by Ethylene Glycol to Produce N-rGO for Supercapacitor Applications. *Nanomaterials*, 13 (4), 666. <https://doi.org/10.3390/nano13040666>
- Pham, P. V., Mai, T.-H., Dash, S. P., Biju, V., Chueh, Y.-L., Jariwala, D., Tung, V. (2024). Transfer of 2D Films: From Imperfection to Perfection. *ACS Nano*, 18 (23), 14841–14876. <https://doi.org/10.1021/acsnano.4c00590>
- Novoselov, K. S., Geim, A. K., Morozov, S. V., Jiang, D., Zhang, Y., Dubonos, S. V. et al. (2004). Electric Field Effect in Atomically Thin Carbon Films. *Science*, 306 (5696), 666–669. <https://doi.org/10.1126/science.1102896>
- Dreyer, D. R., Park, S., Bielawski, C. W., Ruoff, R. S. (2010). The chemistry of graphene oxide. *Chem. Soc. Rev.*, 39 (1), 228–240. <https://doi.org/10.1039/b917103g>
- Wang, Y., Duan, Y., Liang, X., Tang, L., Sun, L., Wang, R. et al. (2023). Hierarchical Porous Activated Carbon Derived from Coconut Shell for Ultrahigh-Performance Supercapacitors. *Molecules*, 28 (20), 7187. <https://doi.org/10.3390/molecules28207187>
- Widanarto, W., Solehudin, H., Rahmawati, D., Byennardsi, S. D., Effendi, M., Ghoshal, S. K., Kurniawan, C. (2025). Lanthanum-doped rGO from biomass: a sustainable electrode material for enhanced supercapacitor performance. *Engineering Research Express*, 7 (2), 025004. <https://doi.org/10.1088/2631-8695/adca8b>

12. Huo, Y., Xiu, S., Meng, L.-Y., Quan, B. (2023). Solvothermal synthesis and applications of micro/nano carbons: A review. *Chemical Engineering Journal*, 451, 138572. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.138572>
13. Mahmud, A., Deoghare, A. B. (2024). A comparative study on coconut shell-derived graphene oxide and reduced graphene oxide. *Current Applied Physics*, 62, 12–21. <https://doi.org/10.1016/j.cap.2024.03.009>
14. Gupta, B., Kumar, N., Panda, K., Kanan, V., Joshi, S., Visoly-Fisher, I. (2017). Role of oxygen functional groups in reduced graphene oxide for lubrication. *Scientific Reports*, 7 (1). <https://doi.org/10.1038/srep45030>
15. Shams, M., Guiney, L. M., Huang, L., Ramesh, M., Yang, X., Hersam, M. C., Chowdhury, I. (2019). Influence of functional groups on the degradation of graphene oxide nanomaterials. *Environmental Science: Nano*, 6 (7), 2203–2214. <https://doi.org/10.1039/c9en00355j>
16. Carrera, C., Galán-González, A., Maser, W. K., Benito, A. M. (2025). Multifaceted role of H₂O₂ in the solvothermal synthesis of green-emitting nitrogen-doped graphene quantum dots. *Chemical Science*, 16 (8), 3662–3670. <https://doi.org/10.1039/d4sc07896a>
17. Popov, I. A., Bozhenko, K. V., Boldyrev, A. I. (2011). Is graphene aromatic? *Nano Research*, 5 (2), 117–123. <https://doi.org/10.1007/s12274-011-0192-z>
18. Yu, W., Sisi, L., Haiyan, Y., Jie, L. (2020). Progress in the functional modification of graphene/graphene oxide: a review. *RSC Advances*, 10 (26), 15328–15345. <https://doi.org/10.1039/d0ra01068e>
19. Nethravathi, C., Rajamathi, M. (2008). Chemically modified graphene sheets produced by the solvothermal reduction of colloidal dispersions of graphite oxide. *Carbon*, 46 (14), 1994–1998. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2008.08.013>
20. Sankar, S., Lee, H., Jung, H., Kim, A., Ahmed, A. T. A., Inamdar, A. I. et al. (2017). Ultrathin graphene nanosheets derived from rice husks for sustainable supercapacitor electrodes. *New Journal of Chemistry*, 41 (22), 13792–13797. <https://doi.org/10.1039/c7nj03136j>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.328730

EVALUATION OF A COMBINED HEAT SINK AND CLAMPING METHOD TO MITIGATE WELD DISTORTION IN LOW CARBON STEEL USING GMAW (p. 15–27)

Heri Wibowo

Universitas Negeri Yogyakarta, Depok District, Sleman Regency,
Yogyakarta Special Region, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3549-523X>

Slamet Karyono

Universitas Negeri Yogyakarta, Depok District, Sleman Regency,
Yogyakarta Special Region, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9478-4018>

Tri Adi Prasetya

Universitas Negeri Yogyakarta, Depok District, Sleman Regency,
Yogyakarta Special Region, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8006-8707>

Ahmad Fikrie

Universitas Negeri Yogyakarta, Depok District, Sleman Regency,
Yogyakarta Special Region, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8723-4579>

Agus Widiyanto

Universitas Negeri Yogyakarta, Depok District, Sleman Regency,
Yogyakarta Special Region, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1554-2561>

The mechanical strength and distortion management of GMAW-welded low-carbon steel (A36) joints are investigated in this work. GMAW is a combination of heat sinking and clamping procedures. Dimensional precision and structural reliability are compromised due to the substantial distortion caused during welding. To solve this problem, this research looks at a thermal-mechanical strategy that uses heat sinks and mechanical clamps in tandem when welding. Untreated joints (As-welded) and three different treatment variants (HS5-4C, HS27-4C, and HS27-6C) were tested in different experimental configurations. Using a 27°C water-cooled heat sink and six steel clamps, the HS27-6C treatment significantly decreased longitudinal distortion, going from 6.7 mm (As-welded) to 0.85 mm, an astonishing 87% reduction. Mechanical testing showed that in all configurations, the tensile strength was approximately 500 MPa and that weld integrity was preserved since failures were in the base metal rather than the weld metal. Microstructural examination revealed an increase in Acicular Ferrite (AF) content in the weld metal for treated samples, particularly HS27-6C, which enhanced toughness, and microhardness tests verified consistent hardness values (e.g., weld metal (WM): ~200 HV, heat-affected zone (HAZ): ~170 HV, base metal (BM): ~150 HV). Mechanical restriction, in the form of clamps, reduces unequal expansion and contraction during solidification, and thermal management, accomplished by dispersing excess heat, is responsible for the method's efficacy. This integrated approach offers a realistic and cost-effective means of reducing distortion without sacrificing mechanical performance. This is particularly noteworthy in the structural, automotive, and manufacturing sectors, where precise control over dimensions is important.

Keywords: thermal conductors, acicular ferrite, deformation, material characteristics, metal inert gas welding.

References

1. Hajili, S. (2018). Welding processes for joining dissimilar metals and plastics. *School of Industrial and Information Engineering*, 1, 12–14.
2. Ragavendran, M., Vasudevan, M., Hussain, N. (2022). Study of the Microstructure, Mechanical Properties, Residual Stresses, and Distortion in Type 316LN Stainless Steel Medium Thickness Plate Weld Joints. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 31 (6), 5013–5025. <https://doi.org/10.1007/s11665-021-06534-1>
3. Masubuchi, K. (1980). Analysis of welded structures: residual stresses, distortion, and their consequences. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/c2013-0-05818-5>
4. Oliveira, J. P., Santos, T. G., Miranda, R. M. (2020). Revisiting fundamental welding concepts to improve additive manufacturing: From theory to practice. *Progress in Materials Science*, 107, 100590. <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2019.100590>
5. Gray, T., Camilleri, D., McPherson, N. (2014). Control of welding distortion in thin-plate fabrication: design support exploiting computational simulation. Elsevier.
6. Tabatabaiean, A., Ghasemi, A. R., Shokrieh, M. M., Marzbanrad, B., Baraheni, M., Fotouhi, M. (2021). Residual Stress in Engineering Materials: A Review. *Advanced Engineering Materials*, 24 (3). <https://doi.org/10.1002/adem.202100786>
7. Li, Y., Zhao, Y., Li, Q., Wu, A., Zhu, R., Wang, G. (2017). Effects of welding condition on weld shape and distortion in electron beam welded Ti2AlNb alloy joints. *Materials & Design*, 114, 226–233. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2016.11.083>
8. Singh, R. (2016). Applied welding engineering: processes, codes, and standards. Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/10.1016/c2015-0-00784-5>

9. Andritsos, F., Perez-Prat, J. (2000). State-of-the-art report on The Automation and Integration of Production Processes in Shipbuilding. European Commission, Joint Research Centre, ISIS. <https://www.researchgate.net/publication/236095099>
10. Panji, M., Baskoro, A. S., Widyianto, A. (2019). Effect of Welding Current and Welding Speed on Weld Geometry and Distortion in TIG Welding of A36 Mild Steel Pipe with V-Groove Joint. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 694 (1), 012026. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/694/1/012026>
11. Chen, B.-Q., Liu, K., Xu, S. (2024). Recent Advances in Aluminum Welding for Marine Structures. Journal of Marine Science and Engineering, 12 (9), 1539. <https://doi.org/10.3390/jmse12091539>
12. Radaj, D. (1992). Heat effects of welding: temperature field, residual stress, distortion. Springer Science & Business Media, 348. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-48640-1>
13. Mohan, A., Franciosa, P., Dai, D., Ceglarek, D. (2024). A novel approach to control thermal induced buckling during laser welding of battery housing through a unilateral N-2-1 fixturing principle. Journal of Advanced Joining Processes, 10, 100256. <https://doi.org/10.1016/j.jajp.2024.100256>
14. Ilman, M. N., Sehono, Muslih, M. R. (2022). Application of Hybrid Transient Thermal Tensioning/Trailing Active Cooling Treatment for Minimizing Distortion, Residual Stress, and Fatigue Crack Growth Rate of Friction Stir Welding Joints. Journal of Materials Engineering and Performance, 31 (9), 7772–7784. <https://doi.org/10.1007/s11665-022-06788-3>
15. Liu, Z., Jin, X., Zhang, J., Hao, Z., Li, J., Chen, H. (2022). Numerical and experimental investigation on the mechanism of synchronous trailing cold air heat sink in eliminating the deformation during laser welding SUS301L thin sheet. Optics & Laser Technology, 153, 108258. <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2022.108258>
16. Wibowo, H., Karyono, S., Prasetya, T. A., Nugroho, B. (2020). Non-destructive test inspection of gas metal arc welding products with clamp and heat sink treatment on low carbon steel. Journal of Physics: Conference Series, 1700 (1), 012003. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1700/1/012003>
17. Δασύτης, Γ. N. (2023). Methods to control distortions of welded structures.
18. Go, B.-S., Oh, K.-H., Kwon, S.-I., Bang, H.-S. (2022). Reduction Characteristics of Welding Deformation According to Cooling Distance in Heat Sink Welding. International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, 23 (11), 1229–1236. <https://doi.org/10.1007/s12541-022-00673-8>
19. Zhang, C., Li, S., Sun, J., Wang, Y., Deng, D. (2019). Controlling angular distortion in high strength low alloy steel thick-plate T-joints. Journal of Materials Processing Technology, 267, 257–267. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2018.12.023>
20. Gómore, C. M., Ambriz, R. R., Zuno-Silva, J., Jaramillo, D. (2020). Heat Sink Effect on 6061 Aluminum Alloy Welds with Different Partial Aging Conditions. Journal of Materials Engineering and Performance, 29 (7), 4339–4350. <https://doi.org/10.1007/s11665-020-04982-9>
21. Jiang, K., Wang, C., Ren, J., Li, Z., Ma, T. (2025). Nondestructive inspection method of welding rate for heat sink fins with complex structure via infrared thermography principle and deep learning method. Expert Systems with Applications, 260, 125402. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.125402>
22. Ramasamy, N., Jeyasimman, D., Kathiravan, R., Raju, N. (2019). Influence of Welding Sequence on Residual Stresses Induced in As-Welded Plug Weld of Low-Carbon Steel Plate. Transactions of the Indian Institute of Metals, 72 (5), 1361–1369. <https://doi.org/10.1007/s12666-019-01631-1>
23. Yi, B., Fu, L., Xue, D., Liu, Y., Lei, W., Wang, J. (2024). Rapid analysis method for process parameter determination of transient thermal tensioning during welding buckling distortion mitigation. Thin-Walled Structures, 202, 112053. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2024.112053>
24. Zhao, H., Zhang, Q., Niu, Y., Du, S., Lu, J., Zhang, H., Wang, J. (2020). Influence of triangle reinforcement plate stiffeners on welding distortion mitigation of fillet welded structure for lightweight fabrication. Ocean Engineering, 213, 107650. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2020.107650>
25. Sun, Y., Smith, M., Dutilleul, T., Jones, S. (2022). Assessing and mitigating the distortion and stress during electron beam welding of a large shell-flange structure. International Journal of Pressure Vessels and Piping, 199, 104772. <https://doi.org/10.1016/j.ijpvp.2022.104772>
26. Barrios, A. M., Burgos, L. M., Niebles-Núñez, E. E., Espitia, L. A., Unfried-Silgado, J. (2021). Influence of immersion corrosion on mechanical properties of AISI 430/AISI 316L dissimilar welded joints. International Journal of Engineering, 34 (5), 1352–1361. <https://doi.org/10.5829/ije.2021.34.05b.31>
27. Widyianto, A., Baskoro, A. S., Kiswanto, G., Ganeswara, M. F. G. (2021). Effect of welding sequence and welding current on distortion, mechanical properties and metallurgical observations of orbital pipe welding on SS 316L. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2 (12 (110)), 22–31. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.228161>
28. Wibowo, H., Surahmanto, F., Ilman, M. N. (2023). Identifying the influence of transient thermal tensioning treatments on minimizing distortion and improving fatigue behavior of steel welded. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4 (12 (124)), 37–46. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.285192>
29. Holder, R., Larkin, N., Li, H., Kuzmnikova, L., Pan, Z., Norrish, J. (2011). Development of a DC-LSND welding process for GMAW on DH-36 Steel. 56th WTIA annual conference 2011.
30. Babu, P. D., Gouthaman, P., Marimuthu, P. (2019). Effect of Heat Sink and Cooling Mediums on Ferrite Austenite Ratio and Distortion in Laser Welding of Duplex Stainless Steel 2205. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 32 (1). <https://doi.org/10.1186/s10033-019-0363-5>
31. Babasafari, Z., Pan, A. V., Pahlevani, F., Hossain, R., Sahajwalla, V., du Toit, M., Dippenaar, R. (2020). Effects of austenizing temperature, cooling rate and isothermal temperature on overall phase transformation characteristics in high carbon steel. Journal of Materials Research and Technology, 9 (6), 15286–15297. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.10.071>
32. Long, S., Liang, Y., Jiang, Y., Liang, Y., Yang, M., Yi, Y. (2016). Effect of quenching temperature on martensite multi-level microstructures and properties of strength and toughness in 20CrNi2Mo steel. Materials Science and Engineering: A, 676, 38–47. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2016.08.065>
33. Lakshminarayanan, A. K., Balasubramanian, V. (2010). Tensile and Impact Toughness Properties of Gas Tungsten Arc Welded and Friction Stir Welded Interstitial Free Steel Joints. Journal of Materials Engineering and Performance, 20 (1), 82–89. <https://doi.org/10.1007/s11665-010-9649-6>
34. Zhou, Q., Wang, Y., Choi, S.-K., Cao, L., Gao, Z. (2018). Robust optimization for reducing welding-induced angular distortion in fiber laser keyhole welding under process parameter uncertainty. Applied Thermal Engineering, 129, 893–906. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.10.081>
35. Jorge, L. de J., Cândido, V. S., Silva, A. C. R. da, Garcia Filho, F. da C., Pereira, A. C., Luz, F. S. da, Monteiro, S. N. (2018). Mechanical properties and microstructure of SMAW welded and thermally treated HSLA-80 steel. Journal of Materials Research and Technology, 7 (4), 598–605. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2018.08.007>

36. Abioye, T. E., Omotehinse, I. S., Oladele, I. O., Olugbade, T. O., Ogedengbe, T. I. (2020). Effects of post-weld heat treatments on the microstructure, mechanical and corrosion properties of gas metal arc welded 304 stainless steel. *World Journal of Engineering*, 17 (1), 87–96. <https://doi.org/10.1108/wje-11-2019-0323>
37. Rizvi, S. A. (2020). Effect of Heat Input on Microstructural and Mechanical Properties of AISI 304 Welded Joint Via MIG Welding. *International Journal of Engineering*, 33 (9), 1811–1816. <https://doi.org/10.5829/ije.2020.33.09c.16>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.331878

DETERMINING THE RATIONAL TECHNOLOGICAL PROCESSING MODES FOR ACHIEVING OPTIMAL OPERATIONAL CHARACTERISTICS OF THE SURFACE LAYER OBTAINED BY ELECTRIC SPARK ALLOYING USING CARBIDE ELECTRODES (p. 28–37)

Ihor Prunko

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,
Ivano-Frankivsk, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0242-614X>

Tetyana Voytsekhivska

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,
Ivano-Frankivsk, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7967-4953>

Yaroslav Dem'yanchuk

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,
Ivano-Frankivsk, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2005-2986>

The object of this study is the wear resistance of surfaces after electric spark alloying in contact with elastically fixed abrasive grains. The task addressed relates to the lack of technological modes for electric spark processing, in particular for hard alloys T15K6 and VK8. A rational mode has been determined, under which samples with an optimal surface profile, a uniform structure, and minimal internal defects were obtained.

The choice of the technique for machining high-wear surfaces by the electric spark alloying method is due to its simplicity and accessibility.

Waste can be used as electrodes, specifically hard alloy plates of a cutting tool that have failed. At the same time, there are a number of unresolved issues related to the choice of optimal machining modes that would ensure high wear resistance of the machined surfaces.

A technique for testing machined parts for wear has been proposed. It was found that the highest predicted wear resistance would be demonstrated by parts processed by the electric spark alloying (ESA) method using the VK8 electrode, with the capacitor bank capacity of $330 \pm 30 \mu\text{F}$ and the electrode vibration frequency of $125 \pm 25 \text{ Hz}$. They combine high surface microhardness (13.5 MPa) and residual compressive stresses in the deposited layer (–90 MPa).

The results are attributed to the physical and mechanical processes occurring in the metal during electric spark alloying. These conditions were created by different values of technological parameters. A feature of the results is that it was established that not only the hardness of the deposited layer but also the magnitude of internal stresses in this layer have a significant impact on the operational parameters.

Practical application implies that electric spark alloying could become an alternative technology for strengthening the surfaces of

parts that work in contact with abrasives (mechanical engineering, medicine).

Keywords: electric spark alloying, hard alloys, tribological studies, spectral analysis, microhardness, wear.

References

1. Tarelnyk, V., Konoplianchenko, I., Tarelnyk, N., Kozachenko, A. (2019). Modeling Technological Parameters for Producing Combined Electrospark Deposition Coatings. *Materials Science Forum*, 968, 131–142. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.968.131>
2. Katinas, E., Jankauskas, V., Kazak, N., Michailov, V. (2019). Improving Abrasive Wear Resistance for Steel Hardox 400 by Electro-Spark Deposition. *Journal of Friction and Wear*, 40 (1), 100–106. <https://doi.org/10.3103/s1068366619010070>
3. Lu, K., Zhu, J., Ge, W., Hui, X. (2022). Progress on New Preparation Methods, Microstructures, and Protective Properties of High-Entropy Alloy Coatings. *Coatings*, 12 (10), 1472. <https://doi.org/10.3390/coatings12101472>
4. Zhengchuan, Z., Guanjuan, L., Konoplianchenko, I., Tarelnyk, V. B., Zhiqin, G., Xin, D. (2022). A review of the electro-spark deposition technology. *Bulletin of Sumy National Agrarian University. The Series: Mechanization and Automation of Production Processes*, 2 (44), 45–53. <https://doi.org/10.32845/msnau.2021.2.10>
5. Wang, J., Zhang, M., Dai, S., Zhu, L. (2023). Research Progress in Electrospark Deposition Coatings on Titanium Alloy Surfaces: A Short Review. *Coatings*, 13 (8), 1473. <https://doi.org/10.3390/coatings13081473>
6. Leo, P., Renna, G., Casalino, G. (2017). Study of the Direct Metal Deposition of AA2024 by ElectroSpark for Coating and Reparation Scopes. *Applied Sciences*, 7 (9), 945. <https://doi.org/10.3390/app7090945>
7. Cao, G., Zhang, X., Tang, G., Ma, X. (2019). Microstructure and Corrosion Behavior of Cr Coating on M50 Steel Fabricated by Electrospark Deposition. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 28 (7), 4086–4094. <https://doi.org/10.1007/s11665-019-04148-2>
8. Salmaliyan, M., Malek Ghaeni, F., Ebrahimnia, M. (2017). Effect of electro spark deposition process parameters on WC-Co coating on H13 steel. *Surface and Coatings Technology*, 321, 81–89. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2017.04.040>
9. Jiao, Z., Peterkin, S., Felix, L., Liang, R., Oliveira, J. P., Schell, N. et al. (2018). Surface Modification of 304 Stainless Steel by Electro-Spark Deposition. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 27 (9), 4799–4809. <https://doi.org/10.1007/s11665-018-3579-0>
10. Tarelnyk, V., Martsynkovskyy, V., Gaponova, O., Konoplianchenko, I., Dovzyk, M., Tarelnyk, N., Gorovoy, S. (2017). New sulphiding method for steel and cast iron parts. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 233, 012049. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/233/1/012049>
11. Kozak, F. V., Prunko, I. B., Fedenko, V. Y., Gladun, M. R. (2024). Optimization of the process of application of electrospark coatings when strengthening automotive parts of the “shaft” type. *Oil and Gas Power Engineering*, 2 (40), 66–72. [https://doi.org/10.31471/1993-9868-2023-2\(40\)-66-72](https://doi.org/10.31471/1993-9868-2023-2(40)-66-72)
12. Kryshchtopa, S., Kryshchtopa, L., Bogatchuk, I., Prunko, I., Melnyk, V. (2017). Examining the effect of triboelectric phenomena on wear-friction properties of metal-polymeric frictional couples. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (5 (85)), 40–45. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.91615>
13. Kryshchtopa, S. I., Petryna, D. Yu., Bogatchuk, I. M., Prun'ko, I. B., Mel'nyk, V. M. (2017). Surface Hardening of 40KH Steel by Electric-Spark Alloying. *Materials Science*, 53 (3), 351–358. <https://doi.org/10.1007/s11003-017-0082-y>

14. Kryshchtopa, S., Kozhevnykov, A., Panchuk, M., Kryshchtopa, L. (2018). Influence of triboelectric processes on friction characteristics of brake units of technological transport. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 3, 87–93. <https://doi.org/10.29202/nvngu/2018-3/10>
15. Kryshchtopa, S. I., Prun'ko, I. B., Dolishnii, B. V., Panchuk, M. V., Bogatchuk, I. M., Mel'nyk, V. M. (2019). Regularities of Wear of Metal-Polymer Friction Couples Under the Influence of Tribocurrents. *Materials Science*, 55 (2), 193–200. <https://doi.org/10.1007/s11003-019-00288-x>
16. Hvozdet's'kyi, V. M., Sirak, Ya. Ya., Zadorozhna, Kh. R., Dem'yanchuk, Ya. M. (2018). Influence of the Size of Drops and the Velocity of Flow on the Structure and Properties of Electric-Arc Coatings. *Materials Science*, 53 (5), 702–708. <https://doi.org/10.1007/s11003-018-0126-y>
17. Prysyazhnyuk, P., Ivanov, O., Matvienkiv, O., Marynenko, S., Korol, O., Koval, I. (2022). Impact and abrasion wear resistance of the hardfacings based on high-manganese steel reinforced with multicomponent carbides of Ti-Nb-Mo-V-C system. *Procedia Structural Integrity*, 36, 130–136. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2022.01.014>
18. Rukanskis, M. (2019). Control of Metal Surface Mechanical and Tribological Characteristics Using Cost Effective Electro-Spark Deposition. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*, 55 (5), 607–619. <https://doi.org/10.3103/s1068375519050107>
19. Ribalko, A. V., Sahin, O., Korkmaz, K. (2009). A modified electrospray alloying method for low surface roughness. *Surface and Coatings Technology*, 203 (23), 3509–3515. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2009.05.002>
20. Bembenek, M., Kopei, V., Ropyak, L., Levchuk, K. (2023). Stressed State of Chrome Parts During Diamond Burnishing. *Metallifizika I Noveishie Tekhnologii*, 45 (2), 239–250. <https://doi.org/10.15407/mfint.45.02.0239>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.330856

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ СОЛЬВОТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ НА СТРУКТУРНІ ТА ЕЛЕКТРОХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ГРАФЕНОПОДІБНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ЗАСТОСУВАННЯ В СУПЕРКОНДЕНСАТОРАХ (с. 6–14)**Wahyu Widanarto, Dedi Setiawan, Mukhtar Effendi, Wahyu Tri Cahyanto, Retno Supriyanti, Muhammad Syaiful Aliim, Dina Rahmawati, Candra Kurniawan**

Об'єктом цього дослідження є графеноподібний матеріал, синтезований з біомаси кокосової шкаралупи за допомогою сольвотермічного процесу з використанням етиленгліколю (98%) як диспергуючого середовища. Були досліджені розшаровані вуглецеві нанолісти, призначені для використання як електродні матеріали в суперконденсаторах. Дослідження стосується проблеми покращення структурної якості та електрохімічних характеристик вуглецевих матеріалів, отриманих з біомаси, для накопичення енергії. Сольвотермічний процес застосовувався при різних концентраціях етиленгліколю (1, 3 та 5 мг/мл), а синтезовані зразки порівнювалися з необробленим контролем. Результати показують, що зразок, оброблений 3 мг/мл (SL-2), продемонстрував найсприятливіші характеристики, включаючи зменшення міжшарової відстані (0,39 нм), утворення тонких нанолістів та зменшення кількості кисневмісних функціональних груп, що підтверджується аналізами методами просвічуючої електронної мікроскопії, інфрачервоної спектроскопії з перетворенням Фур'є та енергодисперсійної рентгенівської спектроскопії. Ці структурні покращення пояснюються комбінованим впливом теплової енергії та розшаровування за допомогою розчинника, що сприяло частковій деоксигенації та перевпорядкуванню вуглецевих шарів. BET-аналіз виявив високу питому площу поверхні 872,886 м²/г, що сприяє покращеній доступності іонів. Електрохімічні вимірювання продемонстрували питому ємність 31,50 Ф/г для SL-2, що значно вище, ніж у необробленого зразка (6,32 Ф/г), разом із нижчим внутрішнім опором (1,87 Ом) та тривалішим часом заряду-розряду (39,90 с), що свідчить про покращений іонний транспорт та провідність. Ці результати підкреслюють потенціал цього сталого та настроюваного методу виробництва економічно ефективних, екологічно чистих електродів для суперконденсаторів.

Ключові слова: графеноподібний матеріал, біомаса кокосової шкаралупи, сольвотермічна обробка, етиленгліколь, електрохімічні характеристики, суперконденсатор.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.328730

ОЦІНКА КОМБІНОВАНОГО МЕТОДУ ТЕПЛОВІДВОДУ ТА ЗАТИСКАННЯ ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ ДЕФОРМАЦІЇ ЗВАРНОГО ШВА В НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВІЙ СТАЛІ З ВИКОРИСТАННЯМ ГАЗОВОГО ДУГОВОГО ЗВАРЮВАННЯ МЕТАЛОМ (с. 15–27)**Heri Wibowo, Slamet Karyono, Tri Adi Prasetya, Ahmad Fikrie, Agus Widyanito**

У цій роботі досліджується механічна міцність та управління деформацією з'єднань низьковуглецевої сталі (A36), зварених методом газового дугового зварювання металом (ГДЗМ). ГДЗМ – це поєднання процедур тепловідведення та затискання. Розмірна точність та структурна надійність знижуються через значну деформацію, що виникає під час зварювання. Щоб вирішити цю проблему, у цьому дослідженні розглядається термомеханічна стратегія, яка використовує радіатори та механічні затискачі одночасно під час зварювання. Необроблені з'єднання (після зварювання) та три різні варіанти обробки (HS5-4C, HS27-4C та HS27-6C) були випробувані в різних експериментальних конфігураціях. Використовуючи радіатор з водяним охолодженням при температурі 27°C та шість сталевих затискачів, обробка HS27-6C значно зменшила поздовжню деформацію з 6,7 мм (після зварювання) до 0,85 мм, що становить вражаюче зменшення на 87%. Механічні випробування показали, що у всіх конфігураціях міцність на розтяг становила приблизно 500 МПа, а цілісність зварного шва була збережена, оскільки руйнування були в основному металі, а не в металі шва. Мікроструктурне дослідження виявило збільшення вмісту голчастого фериту (ГФ) у зварному металі оброблених зразків, зокрема HS27-6C, що підвищило в'язкість, а випробування на мікротвердість підтвердили стабільні значення твердості (наприклад, метал шва (МШ): ~200 HV, зона термічного впливу (ЗТВ): ~170 HV, основний метал (ОМ): ~150 HV). Механічне обмеження у вигляді затискачів зменшує нерівномірне розширення та стиснення під час затвердіння, а термічне управління, що досягається шляхом розсіювання надлишкового тепла, відповідає за ефективність методу. Цей комплексний підхід пропонує реалістичний та економічно ефективний спосіб зменшення деформації без шкоди для механічних характеристик. Це особливо важливо в будівельній, автомобільній та виробничій галузях, де важливий точний контроль розмірів.

Ключові слова: теплопровідники, голчастий ферит, деформація, характеристики матеріалу, зварювання металу в середовищі інертного газу.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.331878

ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РЕЖИМІВ ОБРОБКИ З МЕТОЮ ОДЕРЖАННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ, ОТРИМАНОГО ЕЛЕКТРОІСКРОВИМ ЛЕГУВАННЯМ З ВИКОРИСТАННЯМ ТВЕРДОСПЛАВНИХ ЕЛЕКТРОДІВ (с. 28–37)**І. Б. Прунько, Т. Й. Войцехівська, Я. М. Дем'янчук**

Об'єкт дослідження – зносостійкість поверхонь після електроіскрового легування при контакті з пружнозакріпленими зернами абразиву. Проблема, що вирішувалась в роботі, пов'язана з відсутністю технологічних режимів для електроіскрової обробки, зокрема

для твердих сплавів Т15К6 і ВК8. Визначено раціональний режим, за якого отримувалися зразки з оптимальним профілем поверхні, однорідною структурою та мінімальними внутрішніми дефектами.

Вибір способу обробки швидкозношуваних поверхонь методом електроіскрового легування обумовлений його простотою та доступністю.

В якості електродів можуть бути використані відходи, зокрема твердосплавні пластинки ріжучого інструменту, які вийшли з ладу. Одночасно залишається ряд невирішених питань, пов'язаних з вибором оптимальних режимів обробки, які б забезпечили високу зносостійкість оброблених поверхонь.

Запропоновано спосіб випробовування оброблених деталей на зношування. Було встановлено, що найвищою прогнозованою зносостійкістю володітимуть деталі, оброблені методом електроіскрового легування (ЕІЛ) із застосуванням електрода ВК8, ємність конденсаторної батареї 330 ± 30 мкФ, частота вібрації електроду 125 ± 25 Гц. Вони поєднують високу поверхневу мікротвердість (13,5 МПа) та залишкові напруження стиску в нанесеному шарі (-90 МПа).

Результати пояснюються з точки зору фізико-механічних процесів, що відбуваються в металі під час електроіскрового легування. Ці умови створювалися різними значеннями технологічних параметрів. Особливістю результатів є те, що було встановлено, що значний вплив на експлуатаційні параметри має не тільки твердість нанесеного шару, але і величина внутрішніх напружень в цьому шарі. Практичне застосування: електроіскрове легування може стати альтернативною технологією зміцнення поверхонь деталей, які працюють в умовах контакту з абразивом (машинобудування, медицина).

Ключові слова: електроіскрове легування, тверді сплави, трибологічні дослідження, спектральний аналіз, мікротвердість, зношування.