

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.252321

DEFINING THE FEATURES OF STRUCTURAL AND PHASE TRANSFORMATIONS IN THE RECYCLING OF ANTHROPOGENIC METALLURGICAL WASTE CONTAINING REFRACTORY ELEMENTS (p. 6–11)**Vadym Volokh**

Luhansk National Agrarian University, Starobilsk, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7975-6377>**Anatolii Poliakov**

Luhansk National Agrarian University, Starobilsk, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5332-3696>**Mykhail Yamshinskij**

National Technical University of Ukraine

«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2293-2939>**Ivan Lukianenko**

National Technical University of Ukraine

«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1043-9688>**Andrey Andreev**

Zaporizhzhia National University, Zaporizhzhia, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5390-6813>**Bohdan Tsymbal**

National University of Civil Defence

of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2317-3428>**Ganna Pedchenko**

Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological

University, Melitopol, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4182-9352>**Tetiana Chorna**

Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological

University, Melitopol, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1439-9636>**Tamara Bilko**

National University of Life and Environmental

Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3164-3298>**Anatolii Dzyuba**

Luhansk National Agrarian University, Starobilsk, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4100-3094>

This paper reports a study into the features of the phase composition and microstructure of a master alloy obtained by using the reduction melting of oxide man-made waste. That was necessary to define those technological indicators that provide for an increase in the degree of extraction of alloying elements during the recycling of anthropogenic raw materials and the subsequent use of the alloying material. It has been determined that the phase composition of the alloy at a Si:C ratio in the charge of 0.11 mainly consisted of a solid solution of elements in α -Fe, as well as carbides

Fe₃C and Fe₃W₃C. At the Si:C ratios in the charge of 0.28 and 0.52, along with a solid solution of the elements in α -Fe, Fe₈Si₂C, Fe₅Si₃, and FeSiC, FeSi₂ manifested themselves, respectively. The microstructure of the alloy demonstrated a clear manifestation of several phases with different content of alloying elements. Changing a Si:C ratio in the charge from 0.11 to 0.28 and 0.52 led to an increase in the residual silicon content (wt %) in the studied areas, from 0.00–0.25 to 0.12–1.79 and 0.20–2.11, respectively. At the same time, the carbon content (wt %) in the examined areas varied from 0.25–2.12 to 0.24–2.52 and 0.45–2.68, respectively. The content of alloying elements in the investigated areas varied within (wt %): W – 0.00–43.06, Mo – 0.00–32.72, V – 0.19–20.72, Cr – 0.69–33.94, Co – 0.00–3.96. Analysis of the study's results reveals that the most acceptable ratio of Si:C in the charge is 0.52. In this case, there is a certain content of residual silicon along with carbon in the form of carbo-silicide and silicide compounds. Such indicators of the alloy provide sufficient reducing capacity of the alloy when used. The properties of the alloy make it possible, when smelting steels, to replace part of those standard ferroalloys that do not have strict carbon restrictions.

Keywords: dross of alloy steels, oxide anthropogenic waste, reduction melting, X-ray phase studies.

References

- Henckens, M. L. C. M., van Ierland, E. C., Driessen, P. P. J., Worrell, E. (2016). Mineral resources: Geological scarcity, market price trends, and future generations. *Resources Policy*, 49, 102–111. doi: <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2016.04.012>
- Vlasiuk Y., Pedchenko, G. (2017). The application of economic and mathematical methods in assessing of enterprises competitiveness. *Zbirnyk naukovykh prats TDATU: ekonomichni nauky*, 3 (35), 279–285.
- Mechachti, S, Benchiheub, O., Serrai, S., Shalabi, M. (2013). Preparation of iron Powders by Reduction of Rolling Mill Scale. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 4 (5), 1467–1472. Available at: https://www.researchgate.net/publication/269463295_Preparation_of_iron_Powders_by_Reduction_of_Rolling_Mill_Scale_International_Journal_of_Scientific_Engineering_Research_Volume_4_Issue_5_May-20131457-1472
- Grigor'ev, S. M., Petrishchev, A. S. (2012). Assessing the phase and structural features of the scale on P6M5Φ3 and P12M3K5Φ2 steel. *Steel in Translation*, 42 (3), 272–275. doi: <https://doi.org/10.3103/s0967091212030059>
- Smirnov, A. N., Petrishchev, A. S., Semiryagin, S. V. (2021). Reduction Smelting of Corrosion-Resistant Steel Waste: Aspects of Structural and Phase Transformations. *Steel in Translation*, 51 (7), 484–489. doi: <https://doi.org/10.3103/s0967091221070093>
- Petryshchev, A., Baginec, N., Borysov, V., Bratishko, V., Torubara, O., Tsymbal, B. et al. (2019). Study into the structural-phase transformations accompanying the resource-saving technology of metallurgical waste processing. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (12 (100)), 37–42. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.175914>

7. Grigor'ev, S. M., Petrishchev, A. S. (2012). Resource- and energy-conserving low-silicon alloys in the production of high-speed steel. *Steel in Translation*, 42 (5), 472–476. doi: <https://doi.org/10.3103/s0967091212050051>
8. Azimi, G., Shamanian, M. (2010). Effects of silicon content on the microstructure and corrosion behavior of Fe-Cr-C hardfacing alloys. *Journal of Alloys and Compounds*, 505 (2), 598–603. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2010.06.084>
9. Zhao, L., Wang, L., Chen, D., Zhao, H., Liu, Y., Qi, T. (2015). Behaviors of vanadium and chromium in coal-based direct reduction of high-chromium vanadium-bearing titanomagnetite concentrates followed by magnetic separation. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 25 (4), 1325–1333. doi: [https://doi.org/10.1016/s1003-6326\(15\)63731-1](https://doi.org/10.1016/s1003-6326(15)63731-1)
10. Jung, W.-G., Back, G.-S., Johra, F. T., Kim, J.-H., Chang, Y.-C., Yoo, S.-J. (2018). Preliminary reduction of chromium ore using Si sludge generated in silicon wafer manufacturing process. *Journal of Mining and Metallurgy, Section B: Metallurgy*, 54 (1), 29–37. doi: <https://doi.org/10.2298/jmmb170520054j>
11. Zhu, H., Li, Z., Yang, H., Luo, L. (2013). Carbothermic Reduction of MoO₃ for Direct Alloying Process. *Journal of Iron and Steel Research International*, 20 (10), 51–56. doi: [https://doi.org/10.1016/s1006-706x\(13\)60176-4](https://doi.org/10.1016/s1006-706x(13)60176-4)
12. Shveikin, G. P., Kedin, N. A. (2014). Products of carbothermic reduction of tungsten oxides in argon flow. *Russian Journal of Inorganic Chemistry*, 59 (3), 153–158. doi: <https://doi.org/10.1134/s0036023614030206>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.252738

DETERMINATION OF THE DEPENDENCE OF THE STRUCTURE OF Zn-Al LAYERED DOUBLE HYDROXIDES, AS A MATRIX FOR FUNCTIONAL ANIONS INTERCALATION, ON SYNTHESIS CONDITIONS (p. 12–20)

Vadym Kovalenko

Ukrainian State University
of Chemical Technology, Dnipro, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8012-6732>

Anastasiia Borysenko

Ukrainian State University
of Chemical Technology, Dnipro, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2732-5660>

Valerii Kotok

Ukrainian State University
of Chemical Technology, Dnipro, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8879-7189>

Rovil Nafeev

State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2721-9718>

Volodymyr Verbitskiy

National Pedagogical Dragomanov
University, Kyiv, Ukraine
National Ecological and Naturalistic
Center for Student Youth, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7045-8293>

Olena Melnyk

Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5763-0431>

Layered double hydroxides, especially Zn-Al, are valuable matrices for intercalation with various functional anions: dyes, medicines, food additives, etc. For the purposeful development and optimization of the technology for the synthesis of Zn-Al hydroxides intercalated with functional anions, the phase composition and crystal structure of Zn-Al nitrate layered double hydroxide samples (Zn:Al=4:1) synthesized at solution flow rates of 0.8 and 1.6 l/h, pH=7, 8, 9, 10 and $t=10, 20, 30, 40, 50$ and 60 °C were studied. XRD showed that all samples synthesized at different temperatures, pH, and solution flow rates were Zn-Al layered double hydroxides with an α -Zn(OH)₂ crystal lattice of medium crystallinity, with an admixture of an oxide phase with a ZnO lattice. Three sections of the dependence of the crystallite size of the sample on the synthesis temperature were distinguished: 10–20 °C, 30–50 °C, and 60 °C, within which an increase in temperature led to an increase in crystallinity. A hypothesis was put forward about a change in the mechanism or kinetics of LDH formation at temperatures of 30 °C and 60 °C. An increase in the pH of the synthesis and the flow rate of solutions led to an increase in crystallinity.

A retrospective comparative analysis of the phase composition and crystal structure of Zn-Al-nitrate and Zn-Al-tripolyphosphate (tartrazine or Orange Yellow S) LDH samples was carried out. It was found that the use of large and multi-charged functional anions caused significant adsorption on precipitate nuclei and difficult intercalation. As a result, low crystallinity was formed (Tartrazine anion) or a significant part of LDH was decomposed to oxide (tripolyphosphate and Orange Yellow S anions).

Keywords: Zn-Al layered double hydroxide, crystallinity, intercalation, nitrate, X-ray diffraction.

References

1. Kesavan Pillai, S., Kleyi, P., de Beer, M., Mudaly, P. (2020). Layered double hydroxides: An advanced encapsulation and delivery system for cosmetic ingredients-an overview. *Applied Clay Science*, 199, 105868. doi: <https://doi.org/10.1016/j.clay.2020.105868>
2. Viseras, C., Sánchez-Espejo, R., Palumbo, R., Liccardi, N., García-Villén, F., Borrego-Sánchez, A. et. al. (2022). Clays in cosmetics and personal-care products. *Clays and Clay Minerals*. doi: <https://doi.org/10.1007/s42860-021-00154-5>
3. Zaichuk, A. V., Amelina, A. A. (2018). Blue-green ceramic pigments in the system CaO-MgO-Al₂O₃-SiO₂-CoO-Cr₂O₃ based on granulated blast-furnace slag. *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii*, 6, 120–124. doi: <https://doi.org/10.32434/0321-4095-2018-121-6-120-124>
4. Zaychuk, A. V., Belyi, Ya. I. (2012). Korichnevye keramicheskie pigmenty na osnove martenovskogo shlaka. *Zhurnal prikladnoy himii*, 85 (10), 1595–1600.
5. Zaychuk, A., Iovleva, J. (2013). The Study of Ceramic Pigments of Spinel Type with the Use of Slag of Aluminothermal Production of Ferrotitanium. *Chemistry & Chemical Technology*, 7 (2), 217–225. doi: <https://doi.org/10.23939/chcht07.02.217>
6. Zaychuk, A. V., Belyi, Ya. I. (2013). Sovershenstvovanie sostavov i svoystv seryh keramicheskikh pigmentov. *Steklo i keramika*, 6, 32–37.
7. Zaychuk, A. V., Amelina, A. A. (2017). Poluchenie uvarovityvnykh keramicheskikh pigmentov s primeneniem granulirovannogo domennogo shlaka. *Steklo i keramika*, 3, 32–36. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28926823>

8. Khan, A. I., Ragavan, A., Fong, B., Markland, C., O'Brien, M., Dunbar, T. G. et al. (2009). Recent Developments in the Use of Layered Double Hydroxides as Host Materials for the Storage and Triggered Release of Functional Anions. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 48 (23), 10196–10205. doi: <https://doi.org/10.1021/ie9012612>
9. Mandal, S., Tichit, D., Lerner, D. A., Marcotte, N. (2009). Azoic Dye Hosted in Layered Double Hydroxide: Physicochemical Characterization of the Intercalated Materials. *Langmuir*, 25 (18), 10980–10986. doi: <https://doi.org/10.1021/la901201s>
10. Mandal, S., Lerner, D. A., Marcotte, N., Tichit, D. (2009). Structural characterization of azoic dye hosted layered double hydroxides. *Zeitschrift Für Kristallographie*, 224 (5-6), 282–286. doi: <https://doi.org/10.1524/zkri.2009.1150>
11. Wang, Q., Feng, Y., Feng, J., Li, D. (2011). Enhanced thermal- and photo-stability of acid yellow 17 by incorporation into layered double hydroxides. *Journal of Solid State Chemistry*, 184 (6), 1551–1555. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jssc.2011.04.020>
12. Liu, J. Q., Zhang, X. C., Hou, W. G., Dai, Y. Y., Xiao, H., Yan, S. S. (2009). Synthesis and Characterization of Methyl-Red/Layered Double Hydroxide (LDH) Nanocomposite. *Advanced Materials Research*, 79-82, 493–496. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.79-82.493>
13. Tian, Y., Wang, G., Li, F., Evans, D. G. (2007). Synthesis and thermo-optical stability of o-methyl red-intercalated Ni-Fe layered double hydroxide material. *Materials Letters*, 61 (8-9), 1662–1666. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2006.07.094>
14. Hwang, S.-H., Jung, S.-C., Yoon, S.-M., Kim, D.-K. (2008). Preparation and characterization of dye-intercalated Zn-Al-layered double hydroxide and its surface modification by silica coating. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 69 (5-6), 1061–1065. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jpcs.2007.11.002>
15. Tang, P., Deng, F., Feng, Y., Li, D. (2012). Mordant Yellow 3 Anions Intercalated Layered Double Hydroxides: Preparation, Thermo- and Photostability. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 51 (32), 10542–10545. doi: <https://doi.org/10.1021/ie300645b>
16. Tang, P., Feng, Y., Li, D. (2011). Fabrication and properties of Acid Yellow 49 dye-intercalated layered double hydroxides film on an alumina-coated aluminum substrate. *Dyes and Pigments*, 91 (2), 120–125. doi: <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2011.03.012>
17. Tang, P., Feng, Y., Li, D. (2011). Improved thermal and photostability of an anthraquinone dye by intercalation in a zinc-aluminum layered double hydroxides host. *Dyes and Pigments*, 90 (3), 253–258. doi: <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2011.01.007>
18. Burmistr, M. V., Boiko, V. S., Lipko, E. O., Gerasimenko, K. O., Gomza, Y. P., Vesnin, R. L. et al. (2014). Antifriction and Construction Materials Based on Modified Phenol-Formaldehyde Resins Reinforced with Mineral and Synthetic Fibrous Fillers. *Mechanics of Composite Materials*, 50 (2), 213–222. doi: <https://doi.org/10.1007/s11029-014-9408-0>
19. Kovalenko, V., Kotok, V. (2017). Selective anodic treatment of W(WC)-based superalloy scrap. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (5 (85)), 53–58. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.91205>
20. Shamim, M., Dana, K. (2017). Efficient removal of Evans blue dye by Zn-Al-NO₃ layered double hydroxide. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 15 (6), 1275–1284. doi: <https://doi.org/10.1007/s13762-017-1478-9>
21. Mahjoubi, F. Z., Khalidi, A., Abdennouri, M., Barka, N. (2017). Zn-Al layered double hydroxides intercalated with carbonate, nitrate, chloride and sulphate ions: Synthesis, characterisation and dye removal properties. *Journal of Taibah University for Science*, 11 (1), 90–100. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jtusci.2015.10.007>
22. Pahalagedara, M. N., Samaraweera, M., Dharmarathna, S., Kuo, C.-H., Pahalagedara, L. R., Gascón, J. A., Suib, S. L. (2014). Removal of Azo Dyes: Intercalation into Sonochemically Synthesized NiAl Layered Double Hydroxide. *The Journal of Physical Chemistry C*, 118 (31), 17801–17809. doi: <https://doi.org/10.1021/jp505260a>
23. Darmograi, G., Prelot, B., Layrac, G., Tichit, D., Martin-Gassin, G., Salles, F., Zajac, J. (2015). Study of Adsorption and Intercalation of Orange-Type Dyes into Mg-Al Layered Double Hydroxide. *The Journal of Physical Chemistry C*, 119 (41), 23388–23397. doi: <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.5b05510>
24. Marangoni, R., Bouhent, M., Taviot-Guého, C., Wypych, F., Leroux, F. (2009). Zn₂Al layered double hydroxides intercalated and adsorbed with anionic blue dyes: A physicochemical characterization. *Journal of Colloid and Interface Science*, 333 (1), 120–127. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2009.02.001>
25. El Hassani, K., Beakou, B. H., Kalnina, D., Oukani, E., Anouar, A. (2017). Effect of morphological properties of layered double hydroxides on adsorption of azo dye Methyl Orange: A comparative study. *Applied Clay Science*, 140, 124–131. doi: <https://doi.org/10.1016/j.clay.2017.02.010>
26. Abdellaoui, K., Pavlovic, I., Bouhent, M., Benhamou, A., Barriga, C. (2017). A comparative study of the amaranth azo dye adsorption/desorption from aqueous solutions by layered double hydroxides. *Applied Clay Science*, 143, 142–150. doi: <https://doi.org/10.1016/j.clay.2017.03.019>
27. Santos, R. M. M. dos, Gonçalves, R. G. L., Constantino, V. R. L., Santilli, C. V., Borges, P. D., Tronto, J., Pinto, F. G. (2017). Adsorption of Acid Yellow 42 dye on calcined layered double hydroxide: Effect of time, concentration, pH and temperature. *Applied Clay Science*, 140, 132–139. doi: <https://doi.org/10.1016/j.clay.2017.02.005>
28. Bharali, D., Deka, R. C. (2017). Adsorptive removal of congo red from aqueous solution by sonochemically synthesized NiAl layered double hydroxide. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 5 (2), 2056–2067. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.04.012>
29. Ahmed, M. A., brick, A. A., Mohamed, A. A. (2017). An efficient adsorption of indigo carmine dye from aqueous solution on mesoporous Mg/Fe layered double hydroxide nanoparticles prepared by controlled sol-gel route. *Chemosphere*, 174, 280–288. doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.01.147>
30. Arizaga, G. G. C., Gardolinski, J. E. F. da C., Schreiner, W. H., Wypych, F. (2009). Intercalation of an oxalatoxonobate complex into layered double hydroxide and layered zinc hydroxide nitrate. *Journal of Colloid and Interface Science*, 330 (2), 352–358. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2008.10.025>
31. Andrade, K. N., Pérez, A. M. P., Arizaga, G. G. C. (2019). Passive and active targeting strategies in hybrid layered

- double hydroxides nanoparticles for tumor bioimaging and therapy. *Applied Clay Science*, 181, 105214. doi: <https://doi.org/10.1016/j.clay.2019.105214>
32. Kovalenko, V., Kotok, V., Yeroshkina, A., Zaychuk, A. (2017). Synthesis and characterisation of dye-intercalated nickel-aluminium layered-double hydroxide as a cosmetic pigment. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (12 (89)), 27–33. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.109814>
 33. Cursino, A. C. T., Rives, V., Arizaga, G. G. C., Trujillano, R., Wypych, F. (2015). Rare earth and zinc layered hydroxide salts intercalated with the 2-aminobenzoate anion as organic luminescent sensitizer. *Materials Research Bulletin*, 70, 336–342. doi: <https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2015.04.055>
 34. Mironyak, M., Volnyanska, O., Labyak, O., Kovalenko, V., Kotok, V. (2019). Development of a potentiometric sensor sensitive to polysorbate 20. *EUREKA: Physics and Engineering*, 4, 3–9. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2019.00942>
 35. Kovalenko, V., Kotok, V. (2019). «Smart» anti-corrosion pigment based on layered double hydroxide: construction and characterization. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (12 (100)), 23–30. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.176690>
 36. Carbajal Arizaga, G. G., Sánchez Jiménez, C., Parra Saavedra, K. J., Macías Lamas, A. M., Puebla Pérez, A. M. (2016). Folate-intercalated layered double hydroxide as a vehicle for cyclophosphamide, a non-ionic anti-cancer drug. *Micro & Nano Letters*, 11 (7), 360–362. doi: <https://doi.org/10.1049/mnl.2016.0106>
 37. Ghotbi, M. Y., Hussein, M. Z. bin, Yahaya, A. H., Rahman, M. Z. A. (2009). LDH-intercalated d-gluconate: Generation of a new food additive-inorganic nanohybrid compound. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 70 (6), 948–954. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jpcs.2009.05.007>
 38. Hong, M.-M., Oh, J.-M., Choy, J.-H. (2008). Encapsulation of Flavor Molecules, 4-Hydroxy-3-Methoxy Benzoic Acid, into Layered Inorganic Nanoparticles for Controlled Release of Flavor. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 8 (10), 5018–5021. doi: <https://doi.org/10.1166/jnn.2008.1385>
 39. Rajamathi, M., Vishnu Kamath, P., Seshadri, R. (2000). Polymorphism in nickel hydroxide: role of interstratification. *Journal of Materials Chemistry*, 10 (2), 503–506. doi: <https://doi.org/10.1039/a905651c>
 40. Kovalenko, V., Kotok, V. (2018). Comparative investigation of electrochemically synthesized ($\alpha+\beta$) layered nickel hydroxide with mixture of α -Ni(OH)₂ and β -Ni(OH)₂. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (6 (92)), 16–22. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.125886>
 41. Kovalenko, V., Kotok, V. (2019). Influence of the carbonate ion on characteristics of electrochemically synthesized layered ($\alpha+\beta$) nickel hydroxide. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (6 (97)), 40–46. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.155738>
 42. Solovov, V., Kovalenko, V., Nikolenko, N., Kotok, V., Vlasova, E. (2017). Influence of temperature on the characteristics of Ni(II), Ti(IV) layered double hydroxides synthesised by different methods. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (6 (85)), 16–22. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.90873>
 43. Kovalenko, V., Kotok, V. (2019). Anionic carbonate activation of layered ($\alpha+\beta$) nickel hydroxide. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (6 (99)), 44–52. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.169461>
 44. Nalawade, P., Aware, B., Kadam, V. J., Hirlekar, R. S. (2009). Layered double hydroxides: A review. *Journal of Scientific & Industrial Research*, 68, 267–272. Available at: https://www.researchgate.net/publication/229054139_Layered_double_hydroxides_A_review
 45. Delhoyo, C. (2007). Layered double hydroxides and human health: An overview. *Applied Clay Science*, 36 (1-3), 103–121. doi: <https://doi.org/10.1016/j.clay.2006.06.010>
 46. Hu, M., Lei, L. (2006). Effects of particle size on the electrochemical performances of a layered double hydroxide, [Ni₄Al(OH)₁₀]NO₃. *Journal of Solid State Electrochemistry*, 11 (6), 847–852. doi: <https://doi.org/10.1007/s10008-006-0231-y>
 47. Solovov, V. A., Nikolenko, N. V., Kovalenko, V. L., Kotok, V. A., Burkov, A. A., Kondrat'ev, D. A. et. al. (2018). Synthesis of Ni(II)-Ti(IV) Layered Double Hydroxides Using Coprecipitation At High Supersaturation Method. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 13 (24), 9652–9656. Available at: http://www.arpnjournals.org/jeas/research_papers/rp_2018/jeas_1218_7500.pdf
 48. Kotok, V., Kovalenko, V., Vlasov, S. (2018). Investigation of Ni-Al hydroxide with silver addition as an active substance of alkaline batteries. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (6 (93)), 6–11. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.133465>
 49. Kovalenko, V., Kotok, V. (2019). Investigation of characteristics of double Ni-Co and ternary Ni-Co-Al layered hydroxides for supercapacitor application. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (6 (98)), 58–66. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.164792>
 50. Xiao-yan, G., Jian-cheng, D. (2007). Preparation and electrochemical performance of nano-scale nickel hydroxide with different shapes. *Materials Letters*, 61 (3), 621–625. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2006.05.026>
 51. Kovalenko, V. L., Kotok, V. A., Sykchin, A., Ananchenko, B. A., Chernyad'ev, A. V., Burkov, A. A. et. al. (2020). Al³⁺ Additive in the Nickel Hydroxide Obtained by High-Temperature Two-Step Synthesis: Activator or Poisoner for Chemical Power Source Application? *Journal of The Electrochemical Society*, 167 (10), 100530. doi: <https://doi.org/10.1149/1945-7111/ab9a2a>
 52. Saikia, H., Ganguli, J. N. (2012). Intercalation of Azo Dyes in Ni-Al Layered Double Hydroxides. *Asian Journal of Chemistry*, 24 (12), 5909–5913. Available at: https://www.researchgate.net/publication/282676099_Intercalation_of_Azo_Dyes_in_Ni-Al_Layered_Double_Hydroxides
 53. Kotok, V., Kovalenko, V. (2017). Electrochromism of Ni(OH)₂ films obtained by cathode template method with addition of Al, Zn, Co ions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (12 (87)), 38–43. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.103010>
 54. Kotok, V., Kovalenko, V. (2018). A study of multilayered electrochromic platings based on nickel and cobalt hydroxides. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (12 (91)), 29–35. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.121679>
 55. Kovalenko, V., Kotok, V. (2018). Influence of ultrasound and template on the properties of nickel hydroxide as an active substance of supercapacitors. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (12 (93)), 32–39. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.133548>

56. Kovalenko, V., Kotok, V. (2020). Tartrazine-intercalated Zn-Al layered double hydroxide as a pigment for gel nail polish: synthesis and characterisation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (12 (105)), 29–37. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.205607>
57. Kovalenko, V., Kotok, V. (2020). Bifunctional indigocarmine-intercalated NiAl layered double hydroxide: investigation of characteristics for pigment and supercapacitor application. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (12 (104)), 30–39. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.201282>
58. Kovalenko, V., Kotok, V. (2020). Determination of the applicability of Zn-Al layered double hydroxide, intercalated by food dye Orange Yellow S, as a cosmetic pigment. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (12 (107)), 81–89. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.214847>
59. Kovalenko, V., Kotok, V. (2021). The determination of synthesis conditions and color properties of pigments based on layered double hydroxides with Co as a guest cation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (6 (114)), 32–38. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.247160>
60. Vasserman, I. N. (1980). *Himicheskoe osazhdenie iz rastvorov*. Leningrad: Himiya, 208.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.253473

DETERMINING THE INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF THE ELECTRON-BEAM SURFACING PROCESS ON QUALITY INDICATORS (p. 21–30)

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>

Olena Berdnikova

E. O. Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9754-9478>

This paper reports the technology and equipment designed for manufacturing parts and components with pre-defined properties by 3D printing methods. Underlying the technology is the use of a beam of high-power electrons to smelt metal powder in a vacuum chamber with the formation of successive layers that repeat the contours of the digital model of the article.

The object of research is the process of surfacing articles from the Ti₆Al₄V titanium alloy powder. The purpose is to determine the optimal surfacing modes based on identifying the effect of process parameters on the quality indicators of articles.

The result of the study is the analyzed influence of technological parameters on the properties of articles. The optimum energy density of the beam of 44.5 J/mm³ has been determined. Based on the research results, 25 experimental samples were printed. Three beam speed modes were used:

270, 540, and 780 mm/s. For each mode, the dynamic focusing current varied from –1.2 to 1.27 A in increments of about 0.3 A.

The articles were carefully examined. A method of raster electron microscopy was used to study the morphology of the samples' surfaces in several zones, namely in the central zone and along the contour; the roughness parameters of the surface micro relief, as well as the presence of defects (pores, non-melting, micro irregularities, inclusions), were established. It has been found that the articles are characterized mainly by a homogeneous micro relief of the profile. The structure of surfaces, formed in different zones depending on technological modes, differs in its morphology. Surfacing modes have been established that have the practical application: beam speed, 780 mm/s; power, 675 W; dynamic focus current, from –1.2 to 0 A. This provides for the minimal parameters of the surface micro relief and the absence of defects such as shrinkage pores, non-melting, as well as a minimum number of inclusions.

Keywords: electron beam surfacing, Ti₆Al₄V, technological parameters, raster microscopy, surface roughness.

References

- Nesterenkov, V. M., Matvejchuk, V. A., Rusynik, M. O., Ovchinnikov, A. V. (2017). Application of additive electron beam technologies for manufacture of parts of VT1-0 titanium alloy powders. *Automatic Welding*, 3, 5–10. doi: <https://doi.org/10.15407/as2017.03.01>
- 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. doi: <https://doi.org/10.3390/ma10101121>
- Abdeen, D. H., Palmer, B. R. (2016). Effect of processing parameters of electron beam melting machine on properties of Ti-6Al-4V parts. *Rapid Prototyping Journal*, 22(3), 609–620. doi: <https://doi.org/10.1108/rpj-09-2014-0105>
- Safdar, A., He, H. Z., Wei, L., Snis, A., Chavez de Paz, L. E. (2012). Effect of process parameters settings and thickness on surface roughness of EBM produced Ti-6Al-4V. *Rapid Prototyping Journal*, 18(5), 401–408. doi: <https://doi.org/10.1108/13552541211250391>
- Medina, F., Baughman, B., Godfrey, D., Menon, N. Optimizing EBM Alloy 718 Material for Aerospace Components. Available at: <https://fddocuments.in/document/optimizing-ebm-alloy-718-material-for-aerospace-optimizing-ebm-alloy-718-material.html>
- Tan, X., Kok, Y., Tan, Y. J., Descoins, M., Mangelinck, D., Tor, S. B. et. al. (2015). Graded microstructure and mechanical properties of additive manufactured Ti-6Al-4V via electron beam melting. *Acta Materialia*, 97, 1–16. doi: <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2015.06.036>
- Sun, Y. Y., Gulizia, S., Oh, C. H., Fraser, D., Leary, M., Yang, Y. F., Qian, M. (2016). The Influence of As-Built Surface Conditions on Mechanical Properties of Ti-6Al-4V Additively Manufactured by Selective Electron Beam Melting. *JOM*, 68 (3), 791–798. doi: <https://doi.org/10.1007/s11837-015-1768-y>
- atviichuk, V. A., Nesterenkov, V. M., Berdnikova, O. M. (2022). Additive electron beam technology of manufacture of metal products from powder materials. *Automatic Welding*, 2, 16–25. doi: <https://doi.org/10.37434/as2022.02.03>
- Matviychuk, V. A., Nesterenkov, V. M. (2020). Additive electron beam equipment for layer-by-layer manufacture of

metal products from powder materials. *Automatic Welding*, 2, 44–49. doi: <https://doi.org/10.37434/as2020.02.08>

10. Karimi, P. (2018). Electron beam melting of Alloy 718 – Influence of process parameters on the microstructure. *University West*, 89. Available at: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1264207/FULLTEXT01.pdf>
11. Sino-Euro Materials Technologies. Available at: <https://en.c-semt.com/ti/>
12. Vostrikov, A. V., Suhov, D. I. (2016). Proizvodstvo granul metodom PREP dlya additivnyh tekhnologiy – tekuschiy status i perspektivy razvitiya. *Trudy VIAM*, 8 (44), 17–23.
13. Al-Bermani, S. S. (2011). An investigation into microstructure and microstructural control of additive layer manufactured Ti-6Al-4V by electron beam melting. *University of Sheffield*. Available at: <https://etheses.whiterose.ac.uk/14694/>
14. Hrabec, N., Quinn, T. (2013). Effects of processing on microstructure and mechanical properties of a titanium alloy (Ti-6Al-4V) fabricated using electron beam melting (EBM), Part 2: Energy input, orientation, and location. *Materials Science and Engineering: A*, 573, 271–277. doi: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2013.02.065>
15. Helmer, H. E., Körner, C., Singer, R. F. (2014). Additive manufacturing of nickel-based super alloy Inconel 718 by selective electron beam melting: Processing window and microstructure. *Journal of Materials Research*, 29(17), 1987–1996. doi: <https://doi.org/10.1557/jmr.2014.192>
16. Sames, W. J., Medina, F., Peter, W. H., Babu, S. S., Dehoff, R. R. (2014). Effect of Process Control and Powder Quality on Inconel 718 Produced Using Electron Beam Melting. *8th International Symposium on Super alloy 718 and Derivatives*, 409–423. doi: <https://doi.org/10.1002/9781119016854.ch32>
17. Scharowsky, T., Juechter, V., Singer, R. F., Körner, C. (2015). Influence of the Scanning Strategy on the Microstructure and Mechanical Properties in Selective Electron Beam Melting of Ti-6Al-4V. *Advanced Engineering Materials*, 17 (11), 1573–1578. doi: <https://doi.org/10.1002/adem.201400542>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.252292
IMPROVING THE EFFICIENCY OF FINISHING-HARDENING TREATMENT OF GAS TURBINE ENGINE BLADES (p. 31–37)

Dmytro Pavlenko

Zaporizhzhia Polytechnic National University,
 Zaporizhzhia, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6376-2879>

Eduard Kondratiuk

Zaporizhzhia Machine-Building Design Bureau
 Progress State Enterprise named after academician
 O. H. Ivchenko, Zaporizhzhia, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2672-7174>

Yuriy Torba

Zaporizhzhia Machine-Building Design Bureau
 Progress State Enterprise named after academician
 O. H. Ivchenko, Zaporizhzhia, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8470-9049>

Yevhen Vyshnepolskyi

Zaporizhzhia Polytechnic National University,
 Zaporizhzhia, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8048-7976>

Dmytro Stepanov

Zaporizhzhia Polytechnic National University,
 Zaporizhzhia, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1780-3611>

This paper considers the influence of the technology to finish and strengthen compressor blade tips made of EP718-ID alloy on the characteristics of the surface quality, surface layer, and bearing capacity. Taking into consideration the special role of the finishing-strengthening treatment in the formation of the quality of the surface layer, various options for blade tip processing were investigated. The blade tips were shaped by high-speed line milling. The finishing-strengthening stage of tip machining included manual polishing and ultrasonic hardening operations with steel balls in various combinations.

The basic regularities have been established in the formation of the roughness of tip surfaces, the maximum height of micro-irregularities, the surface microhardness, and the propagation depth of the hardened layer, depending on the combination of finishing-strengthening machining techniques. The results of tests are given for multi-cycle fatigue of blade batches treated according to various variants of the technological process. The efficiency of polishing the surface of the tip after strengthening treatment has been established. To restore the quality characteristics of the surface layer after polishing, it is proposed to perform repeated strengthening treatment. It is shown that the use of double deformation hardening technology with intermediate polishing at the finishing-strengthening stage of blade manufacturing makes it possible to increase the endurance limit from 320 MPa to 400 MPa while increasing durability. Technology for the finishing-strengthening stage of machining blades made from nickel alloys, characterized by significant viscosity, has been devised. It is shown that based on the criteria of minimum labor intensity of machining and maximum endurance of blades, it is effective to use double deformation hardening with steel balls in an ultrasonic field with intermediate polishing.

Keywords: compressor blades, heat-resistant alloy, surface layer, finishing-strengthening processing, double hardening, endurance limit.

References

1. Pavlenko, D. V., Loskutov, S. V., Yatsenko, V. K., Gonchar, N. V. (2003). Structural changes in the surface layers of an EK79-ID alloy upon hardening treatments. *Technical Physics Letters*, 29 (4), 345–346. doi: <https://doi.org/10.1134/1.1573312>
2. Maleki, E., Unal, O., Guagliano, M., Bagherifard, S. (2021). The effects of shot peening, laser shock peening and ultrasonic nanocrystal surface modification on the fatigue strength of Inconel 718. *Materials Science and Engineering: A*, 810, 141029. doi: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2021.141029>
3. Boguslaev, V. A., Pavlenko, D. V. (2008). Strain hardening and fatigue resistance of high-resistant alloy EK79-ID. *Metal Science and Heat Treatment*, 50 (1-2), 7–12. doi: <https://doi.org/10.1007/s11041-008-9001-z>
4. Kaynak, Y., Tascioglu, E. (2019). Post-processing effects on the surface characteristics of Inconel 718 alloy fabricated by selective laser melting additive manufacturing. *Progress in Additive Manufacturing*, 5 (2), 221–234. doi: <https://doi.org/10.1007/s40964-019-00099-1>
5. Lesyk, D. A., Martinez, S., Mordiyuk, B. N., Dzhemelin-skyi, V. V., Lamikiz, A., Prokopenko, G. I. (2020). Post-pro-

- cessing of the Inconel 718 alloy parts fabricated by selective laser melting: Effects of mechanical surface treatments on surface topography, porosity, hardness and residual stress. *Surface and Coatings Technology*, 381, 125136. doi: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2019.125136>
6. Ardi, D. T., Guowei, L., Maharjan, N., Mutiargo, B., Leng, S. H., Srinivasan, R. (2020). Effects of post-processing route on fatigue performance of laser powder bed fusion Inconel 718. *Additive Manufacturing*, 36, 101442. doi: <https://doi.org/10.1016/j.addma.2020.101442>
 7. Lesyk, D. A., Dzhemelinskiy, V. V., Martinez, S., Mordiyuk, B. N., Lamikiz, A. (2021). Surface Shot Peening Post-processing of Inconel 718 Alloy Parts Printed by Laser Powder Bed Fusion Additive Manufacturing. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 30 (9), 6982–6995. doi: <https://doi.org/10.1007/s11665-021-06103-6>
 8. Iswanto, P. T., Akhyar, H., Faqihudin, A. (2018). Effect of shot peening on microstructure, hardness, and corrosion resistance of AISI 316L. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 89 (1), 19–26. doi: <https://doi.org/10.5604/01.3001.0012.6668>
 9. Ituarte, I. F., Salmi, M., Papula, S., Huuki, J., Hemming, B., Coatanea, E. et al. (2020). Surface Modification of Additively Manufactured 18 % Nickel Maraging Steel by Ultrasonic Vibration-Assisted Ball Burnishing. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 142 (7). doi: <https://doi.org/10.1115/1.4046903>
 10. Estrin, Y., Beygelzimer, Y., Kulagin, R., Gumbsch, P., Fratzl, P., Zhu, Y., Hahn, H. (2021). Architecturing materials at mesoscale: some current trends. *Materials Research Letters*, 9 (10), 399–421. doi: <https://doi.org/10.1080/21663831.2021.1961908>
 11. Shokry, A., Ahadi, A., Stähle, P., Orlov, D. (2021). Improvement of structural efficiency in metals by the control of topological arrangements in ultrafine and coarse grains. *Scientific Reports*, 11 (1). doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-96930-3>
 12. Klotz, T., Delbergue, D., Bocher, P., Lévesque, M., Brochu, M. (2018). Surface characteristics and fatigue behavior of shot peened Inconel 718. *International Journal of Fatigue*, 110, 10–21. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2018.01.005>
 13. Vyshnepolskyi, Y., Pavlenko, D., Tkach, D., Dvirnyk, Y. (2020). Parts Diamond Burnishing Process Regimes optimization Made of INCONEL 718 Alloy via Selective Laser Sintering Method. 2020 IEEE 10th International Conference Nanomaterials: Applications & Properties (NAP). doi: <https://doi.org/10.1109/nap51477.2020.9309661>
 14. Segurado, E., Belzunce, F. J. (2016). The Use of Double Surface Treatments to Optimize the Fatigue Life of Components Made on Structural Steels. *Procedia Engineering*, 160, 239–245. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.886>
 15. Bai, Y., Jin, W.-L. (2015). *Marine structural design*. Elsevier. doi: <https://doi.org/10.1016/c2013-0-13664-1>
 16. Zhao, X., Yang, X. L. (2014). Effect of Hardness on Polishing Performance of Plastic Mold Steels in Prehardened Condition. *Applied Mechanics and Materials*, 651–653, 16–19. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.651-653.16>
 17. Tryshyn, P., Honchar, N., Kondratiuk, E., Stepanov, D. (2020). Development of technological restrictions when operating disc polymer-abrasive brushes. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (1 (108)), 27–33. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.212820>
 18. Vasylyev, M. O., Mordiyuk, B. M., Pavlenko, D. V., Yatsenko, L. F. (2016). Ultrasonic Impact Processing of Surface Layer of the BT1-0 Titanium in a Submicrocrystalline State. *Metallofizika i Noveishie Tekhnologii*, 37 (1), 121–134. doi: <https://doi.org/10.15407/mfint.37.01.0121>
 19. Buj-Corral, I., Vivancos-Calvet, J., Casado-López, R. (2010). Methodology and adjustment of the test for determining the polishing difficulty degree of hardened steel surfaces, previously obtained by high-speed milling processes. 14th International Research/Expert Conference «Trends in the Development of Machinery and Associated Technology» TMT 2010, Mediterranean Cruise, 37–40. Available at: <https://www.tmt.unze.ba/zbornik/TMT2010/010-TMT10-161.pdf>
 20. Breumier, S., Adamski, F., Badreddine, J., Lévesque, M., Kermouche, G. (2021). Microstructural and mechanical characterization of a shot peening induced rolled edge on direct aged Inconel 718 alloy. *Materials Science and Engineering: A*, 816, 141318. doi: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2021.141318>
 21. Pavlenko, D. V., Pejchev, G. I., Kocjuba, V. Ju., Bejgelzimer, Ja. Ju., Kondratjuk, E. V., Tkach, D. V. (2014). Increase of operating characteristics the high-pressure compressors blades from alloy ЭП718-ИД. *Aviatsionno-kosmicheskaya tekhnika i tekhnologiya*, 10 (117), 53–60. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/aktit_2014_10_11
 22. Sahnnyuk, N. V., Yatsenko, V. K., Zilichihis, S. D. (2004). Tekhnologicheskie osobennosti izgotovleniya lopatok kompressora metodom vysokoskorostnogo frezerovaniya. *Nadiynist instrumentu ta optymizatsiya tekhnolohichnykh system*, 16, 126–131.
 23. ISO 6507-1:2018. *Metallic materials – Vickers hardness test – Part 1: Test method*. Available at: <https://www.iso.org/ru/standard/64065.html>
 24. ISO 12107:2012. *Metallic materials – Fatigue testing – Statistical planning and analysis of data*. Available at: <https://www.iso.org/standard/50242.html>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.253378

COMPARISON OF THE FEATURES OF THE FORMATION OF JOINTS OF ALUMINUM ALLOY 7075 (Al-Zn-Mg-Cu) BY LASER, MICROPLASMA, AND LASER-MICROPLASMA WELDING (p. 38–47)

Volodymyr Korzhyk

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

Vladyslav Khaskin

E. O. Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3072-6761>

Andrii Grynyuk

E. O. Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6088-7980>

Sviatoslav Peleshenko

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6828-2110>

Viktor Kvasnytskyi

National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7756-5179>

Natalia Fialko

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

Olena Berdnikova

E. O. Paton Electric Welding Institute of the National
Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9754-9478>

Yevhenii Illiashenko

E. O. Paton Electric Welding Institute of the National
Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9876-0320>

Volodymyr Shcheretskiy

Physico-Technological Institute of Metals and Alloys of the
National Academy of Science of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8561-4444>

Yuhui Yao

Shenzhen Hanzhizi Science and Technology Co., Ltd.,
Shenzhen, Guangdong, China
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7196-1317>

This paper reports a study into features of the formation of structures of permanent butt joints of plates with a thickness of 1.5 mm made from the high-strength aluminum alloy 7075 of the Al-Zn-Mg-Cu system. Welding by melting these joints was performed using three techniques: laser, microplasma, and hybrid laser-microplasma. To implement the latter two, a compressed arc on a multipolar asymmetric current was used. The purpose of the research was to establish the tendency to the formation of characteristic defects and the possibility of their elimination. It has been determined that during laser welding a small (~5 %) volumetric fraction of defects in the form of pores is formed, residual welding deformations are minimized. There is a decrease in the hardness of the melted metal by 15 % with a simultaneous increase in the hardness of the heat-affected zone (HAZ) by 8...12 % relative to the base metal. In the melted metal, cavities up to 100 µm in size are formed, which are the center of the origin of hot cracks with a length of 25–30 µm. There are oxide inclusions in the root part of the seam. With microplasma welding, the volume fraction of defects of the melted metal in the form of pores with a size of 10...105 µm increases (up to 25 %). The hardness of the melted metal is reduced by 30 % with the hardness of the HAZ metal close to the base metal. In laser-microplasma welding, the volumetric fraction of defects of the melted metal in the form of pores with a size of 15...25 µm is reduced to 5 %. The hardness of the melted metal is reduced by 15...20 % with the hardness of the HAZ metal close to the base metal. In the lower part of the melted metal, cavities of ~100 µm are formed. No microcracks were found in the seam metal. Analysis of the research results showed the advantage of the laser-microplasma technique. This method reduces the use of laser energy by 40...50 %, the lifetime of the welding pool (0.03...0.05 s) approaches laser welding, it eliminates the danger of burnout of alloying elements.

Keywords: high-strength alloy 7075, laser welding, microplasma welding, laser-microplasma welding, metal grains, chemical composition.

References

1. Varshney, D., Kumar, K. (2021). Application and use of different aluminium alloys with respect to workability, strength and welding parameter optimization. *Ain Shams Engineering Journal*, 12 (1), 1143–1152. doi: <https://doi.org/10.1016/j.asej.2020.05.013>
2. Löveborn, D., Larsson, J. K., Persson, K.-A. (2017). Weldability of Aluminium Alloys for Automotive Applications. *Physics Procedia*, 89, 89–99. doi: <https://doi.org/10.1016/j.phpro.2017.08.011>
3. Schubert, E. (2018). Challenges in Thermal Welding of Aluminium Alloys. *World Journal of Engineering and Technology*, 06 (02), 296–303. doi: <https://doi.org/10.4236/wjet.2018.62018>
4. Krivtsun, I. V., Khaskin, V. Y., Korzhik, V. N., Ziyi, L. (2015). Industrial application of hybrid laser-arc welding (Review). *The Paton Welding Journal*, 2015 (7), 41–46. doi: <https://doi.org/10.15407/tpwj2015.07.07>
5. Zacharia, T., David, S. A., Vitek, J. M., Debroy, T. (1990). Modeling of interfacial phenomena in welding. *Metallurgical Transactions B*, 21 (3), 600–603. doi: <https://doi.org/10.1007/bf02667874>
6. Tanaka, M., Ushio, M., Lowke, J. J. (2005). Numerical Analysis for Weld Formation Using a Free-Burning Helium Arc at Atmospheric Pressure. *JSME International Journal Series B*, 48 (3), 397–404. doi: <https://doi.org/10.1299/jsmeb.48.397>
7. Borisov, Yu. S., Demchenko, V. F., Lesnoj, A. B., Khaskin, V. Yu., Shuba, I. V. (2013). Numerical modelling of heat transfer and hydrodynamics in laser-plasma treatment of metallic materials. *The Paton Welding Journal*, 4, 2–7. Available at: https://www.researchgate.net/publication/283796313_Numerical_Modelling_of_Heat_Transfer_and_Hydrodynamics_in_Laser-Plasma_Treatment_of_Metallic_Materials
8. Holzer, M., Hofmann, K., Mann, V., Hugger, F., Roth, S., Schmidt, M. (2016). Change of Hot Cracking Susceptibility in Welding of High Strength Aluminum Alloy AA 7075. *Physics Procedia*, 83, 463–471. doi: <https://doi.org/10.1016/j.phpro.2016.08.048>
9. Behler, K., Berkmanns, J., Ehrhardt, A., Frohn, W. (1997). Laser beam welding of low weight materials and structures. *Materials & Design*, 18 (4-6), 261–267. doi: [https://doi.org/10.1016/s0261-3069\(97\)00085-x](https://doi.org/10.1016/s0261-3069(97)00085-x)
10. Gündoğduş, E., Akman, E., Yilmaz, M., Topuz, P. (2020). Effect of laser welding speed on pore formation in AA 6061 T6 alloy. *Materials Testing*, 62 (10), 979–984. doi: <https://doi.org/10.1515/mt-2020-621004>
11. Hagenlocher, C., Weller, D., Weber, R., Graf, T. (2018). Reduction of the hot cracking susceptibility of laser beam welds in AlMgSi alloys by increasing the number of grain boundaries. *Science and Technology of Welding and Joining*, 24 (4), 313–319. doi: <https://doi.org/10.1080/13621718.2018.1534775>
12. Olabode, M., Kah, P., Martikainen, J. (2013). Aluminium alloys welding processes: Challenges, joint types and process selection. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 227 (8), 1129–1137. doi: <https://doi.org/10.1177/0954405413484015>
13. Kang, M., Kim, C. (2017). A Review of Joining Processes for High Strength 7xxx Series Aluminum Alloys. *Journal of*

Welding and Joining, 35 (6), 79–88. doi: <https://doi.org/10.5781/jwj.2017.35.6.12>

14. Cao, X., Wallace, W., Immarigeon, J.-P., Poon, C. (2003). Research and Progress in Laser Welding of Wrought Aluminum Alloys. II. Metallurgical Microstructures, Defects, and Mechanical Properties. *Materials and Manufacturing Processes*, 18 (1), 23–49. doi: <https://doi.org/10.1081/amp-120017587>
15. Korzhyk, V. M., Khaskin, V. Y., Grynyuk, A. A., Illyashenko, E. V., Bernatskyi, A. V., Peleshenko, S. I. (2021). Features of laser-plasma welding of corrosion-resistant steel AISI 304 with laser application. *The Paton Welding Journal*, 2021 (12), 9–17. doi: <https://doi.org/10.37434/tpwj2021.12.02>
16. Fetzer, F., Hu, H., Berger, P., Weber, R., Eberhard, P., Graf, T. (2018). Fundamental investigations on the spiking mechanism by means of laser beam welding of ice. *Journal of Laser Applications*, 30 (1), 012009. doi: <https://doi.org/10.2351/1.4986641>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.252719
OPTIMIZATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF RECYCLED POLYURETHANE WASTE MICROFILLER EPOXY COMPOSITES USING GREY RELATIONAL ANALYSIS AND TAGUCHI METHOD (p. 48–58)

Salwa A. Abed

Middle Technical University, Al Za'faraniya, Baghdad, Iraq
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6116-7512>

Ahmad A. Khalaf

Middle Technical University, Al Za'faraniya, Baghdad, Iraq
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8684-3575>

Hayder Mohammed Mnati

Middle Technical University, Al Za'faraniya, Baghdad, Iraq
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3615-9956>

Muammel M. Hanon

MATE University, Szent Istvan Campus, Godollo, Hungary
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4811-5723>

Mechanical properties and thermal conductivity of epoxy composites reinforced with recycled clamshell container waste as a micro filler (RCCF) were studied. The studies have been carried out to identify the influence of the two variables, the heating time periods (HT) within the range of 2, 4, 6 min., and wt % within the range of 1 %, 2 %, 4 % of recycled clamshell container waste that has been used as a reinforcing filler of epoxy composites. Recycling polyurethane waste aims to control and maintain a pollution-free environment, which is currently considered a difficult issue in addition to achieving low-cost aspects in preparing the composites. According to the method of no-combustion heating, the clamshell waste was converted from the natural plastic state into solids that were later made into 75 µm micro filler by grinding. Composites were ranked using grey relational analysis (GRA). The effect of each control parameter on response variables was analyzed by the Taguchi method. Using MINITAB 19 software, regression equations were obtained for each variable of mechanical properties and thermal conductivity to predict the properties of epoxy composites. The results of the addition of recycled clamshell container waste to epoxy resin show an improvement in the mechanical properties and thermal conductivity of the composites. The optimal value of the two factors was at HT2wt2, i.e. HT and wt %

of 4 min and 2 %, respectively. The optimization values for the bending strength, impact strength, tensile strength, stiffness and thermal conductivity are 68.2 MPa, 10.348 kJ/m², 21.08 MPa, 80 Shore D and 0.504 W/m·C°, respectively. The proposed Taguchi methodology based on grey relational analysis has been shown to be effective in solving multi-feature decision-making problems.

Keywords: recycling polyurethane/clamshell waste, mechanical properties, thermal conductivity, Taguchi method.

References

1. Singh, A. K., Bedi, R., Kaith, B. S. (2020). Mechanical properties of composite materials based on waste plastic – A review. *Materials Today: Proceedings*, 26, 1293–1301. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.258>
2. Singh, A. K., Bedi, R., Kaith, B. S. (2021). Composite materials based on recycled polyethylene terephthalate and their properties – A comprehensive review. *Composites Part B: Engineering*, 219, 108928. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2021.108928>
3. Fialko, N., Dinzhos, R., Sherenkovskii, J., Meranova, N., Alohko, S., Izvorska, D. et. al. (2021). Establishment of regularities of influence on the specific heat capacity and thermal diffusivity of polymer nanocomposites of a complex of defining parameters. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (12 (114)), 34–39. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.245274>
4. Adesina, A. Y., Zainelabdeen, I. H., Dalhat, M. A., Mohamed, A. S., Sorour, A. A., Al-Badour, F. A. (2020). Influence of micronized waste tire rubber on the mechanical and tribological properties of epoxy composite coatings. *Tribology International*, 146, 106244. doi: <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2020.106244>
5. Selvaraj, V., Raghavarshini, T. R., Alagar, M. (2020). Development of Prosopis juliflora carbon-reinforced PET bottle waste-based epoxy-blended bio-phenolic benzoxazine composites for advanced applications. *RSC Advances*, 10 (10), 5656–5665. doi: <https://doi.org/10.1039/c9ra08741a>
6. Khalaf, A. A., Abed, S. A., Alkhfaji, S. S., Al-Obaidi, M. A., Hanon, M. M. (2022). The effect of adding natural materials waste on the mechanical properties and water absorption of epoxy composite using grey relations analysis. *EUREKA: Physics and Engineering*, 1, 131–142. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2022.001952>
7. Zhang, K., Wang, F., Liang, W., Wang, Z., Duan, Z., Yang, B. (2018). Thermal and Mechanical Properties of Bamboo Fiber Reinforced Epoxy Composites. *Polymers*, 10 (6), 608. doi: <https://doi.org/10.3390/polym10060608>
8. Taguchi, G., Konishi, S. (1987). Taguchi methods orthogonal arrays and linear graphs: tools for quality engineering. American Supplier Institute, 35–38.
9. Abed, S. A., Khalaf, A. A., Farhan, M., Mahan, H. M. (2018). Influence of Mixing Fine Powder of Tungsten(W) and Nickel (Ni) Upon mechanical Behavior of Resin (Epoxy). *Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems*, 10 (02), 2290–2295. Available at: https://www.researchgate.net/publication/331225641_Influence_of_Mixing_Fine_Powder_of_TungstenW_and_Nickel_Ni_Upon_Mechanical_Behavior_of_Resin_Epoxy_1
10. Sahoo, A. K. (2013). Application of response surface methodology on investigating flank wear in machining hardened steel using PVD TiN coated mixed ceramic insert. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 4 (4), 469–478. doi: <https://doi.org/10.5267/j.ijiec.2013.07.001>

АНОТАЦІЇ
MATERIALS SCIENCE

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.252321

ВИЯВЛЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ СТРУКТУРНО-ФАЗОВИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ ПРИ ПЕРЕРОБЦІ ТЕХНОГЕННИХ МЕТАЛУРГІЙНИХ ВІДХОДІВ З ВМІСТОМ ТУГОПЛАВКИХ ЕЛЕМЕНТІВ (с. 6–11)**В. О. Волох, А. М. Поляков, М. М. Ямшинський, І. В. Лук'яненко, А. М. Андрєєв, Б. М. Цимбал, Г. П. Педченко, Т. С. Чорна, Т. О. Білько, А. І. Дзюба**

Досліджено особливості фазового складу та мікроструктури легуючого сплаву, який отримано з використанням відновлювальної плавки оксидних техногенних відходів. Це необхідно для визначення технологічних показників, що забезпечують підвищення ступеня виділення легуючих елементів під час переробки техногенної сировини та при подальшому використанні легуючого матеріалу. Визначено, що в сплаві при співвідношенні Si:C в шихті 0,11 фазовий склад переважно складався з твердого розчину елементів в α -Fe, а також карбідів Fe₃C та Fe₃W₃C. При співвідношеннях Si:C в шихті 0,28 та 0,52 з разом із твердим розчином елементів в α -Fe мали прояв Fe₈Si₂C, Fe₅Si₃ та FeSiC, FeSi₂ відповідно. Мікроструктура сплаву мала чіткий прояв декількох фаз з різним вмістом легуючих елементів. Зміна співвідношення Si:C в шихті з 0,11 до 0,28 та 0,52 призводила до збільшення в досліджених ділянках залишкового вмісту кремнію (% мас.) з 0,00–0,25 до 0,12–1,79 та 0,20–2,11 відповідно. При цьому вміст вуглецю (% мас.) в досліджених ділянках змінювався з 0,25–2,12 до 0,24–2,52 та 0,45–2,68 відповідно. Вміст легуючих елементів у досліджених ділянках змінювався в межах (% мас.): W – 0,00–43,06, Mo – 0,00–32,72, V – 0,19–20,72, Cr – 0,69–33,94, Co – 0,00–3,96. Аналіз результатів досліджень свідчить, що найбільш прийнятним співвідношенням Si:C в шихті є 0,52. В цьому випадку спостерігається певний вміст залишкового кремнію разом з вуглецем у вигляді карбосиліцидних та силіцидних з'єднань. Такі показники сплаву забезпечують достатню відновну здатність сплаву при використанні. Властивості сплаву дозволяють замінити частину стандартних феросплавів при виплавці сталей, що не мають жорстких обмежень за вуглецем.

Ключові слова: окалини легуваних сталей, оксидні техногенні відходи, відновна плавка, рентгенофазові дослідження.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.252738

ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ СТРУКТУРИ Zn-Al ПОДВІЙНО-ШАРОВИХ ГІДРОКСИДІВ, ЯК МАТРИЦІ ДЛЯ ІНТЕРКАЛЮВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ АНІОНІВ, ВІД УМОВ СИНТЕЗУ (с. 12–20)**В. Л. Коваленко, А. Ю. Борисенко, В. А. Коток, Р. К. Нафєєв, В. В. Вербицький, О. С. Мельник**

Подвійно-шарові гідроксиди, особливо Zn-Al, є цінними матрицями для інтеркалювання різними функціональними аніонами: барвниками, лікарськими засобами, харчовими добавками тощо. Для цілеспрямованої розробки та оптимізації технології синтезу Zn-Al гідроксидів, інтеркальованих функціональними аніонами, був досліджений фазовий склад та кристалічна структура зразків Zn-Al-нітратного подвійно-шарового гідроксиду (Zn:Al=4:1), синтезованих при швидкостях подачі розчинів 0,8 і 1,6 л/год, рН=7, 8, 9, 10 і t=10, 20, 30, 40, 50 і 60 °C. Методом рентгенофазового аналізу показано, що всі зразки, синтезовані при різних температурах, рН та швидкостях подачі розчину, є Zn-Al ПШГ із кристалічною решіткою α -Zn(OH)₂ середньої кристалічності, із домішкою оксидної фази з решіткою ZnO. На залежності розміру кристаліту зразка від температури синтезу було виокремлено три ділянки: 10–20 °C, 30–50 °C і 60 °C, в межах яких підвищення температури призводить до підвищення кристалічності. Висловлено гіпотезу щодо зміни механізму або кінетики формування ПШГ при температурах 30 °C і 60 °C. Підвищення рН синтезу і швидкості подачі розчинів призводить до збільшення кристалічності.

Проведено ретроспективний порівняльний аналіз фазового складу та кристалічної структури зразків Zn-Al-нітратних і Zn-Al-триполіфосфатних (Тартразин або Orange Yellow S) ПШГ. Виявлено, що при використанні великих та багатозарядних функціональних аніонів відбувається суттєва адсорбція на зародках осаду та ускладнена інтеркаляція. В результаті формується низька кристалічність (Тартразин-аніон) або відбувається розпад значної частки ПШГ до оксиду (триполіфосфат- та Orange Yellow S аніони).

Ключові слова: Zn-Al подвійно-шаровий гідроксид, кристалічність, інтеркалювання, нітрат, рентгенофазовий аналіз.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.253473

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВОГО НАПЛАВЛЕННЯ НА ЯКІСНІ ПОКАЗНИКИ (с. 21–30)**В. А. Матвійчук, В. М. Нестеренков, О. М. Берднікова**

В статті представлено розроблену технологію та обладнання для виготовлення методами 3D друку деталей і вузлів із заздалегідь прогнозованими властивостями. В основі технології лежить застосування пучка електронів високої потужності для сплавлення металевого порошку у вакуумній камері з утворенням послідовних шарів, які повторюють контури цифрової моделі виробу.

Об'єктом досліджень є процес наплавлення виробів з порошку титанового сплаву Ti₆Al₄V. Мета – визначення оптимальних режимів наплавлення на основі виявлення впливу параметрів процесу на якісні показники виробів.

В результаті досліджень проаналізовано вплив технологічних параметрів на властивості виробів. Визначена оптимальна густина енергії променя 44,5 Дж/мм³. За результатами досліджень надруковано 25 експериментальних зразків. Використано три режими швидкості променя: 270, 540 та 780 мм/с. Для кожного режиму змінювали струм динамічного фокусування від –1,2 до 1,27 А з кроком біля 0,3 А.

Проведено детальні дослідження виробів. Методом растрової електронної мікроскопії вивчено морфологію поверхонь зразків в декількох зонах, а саме у центральній зоні та по контуру, встановлено параметри шорсткості мікрорельєфу поверхонь, наявність дефектів (пор, несплавлень, мікронерівностей, включень). Встановлено, що вироби характеризуються переважно однорідним

мікрорельєфом профілю. Структура поверхонь, що формується у різних зонах в залежності від технологічних режимів, відрізняється за своєю морфологією. Встановлено режими наплавлення, які мають практичне застосування: швидкість променя 780 мм/с; потужність 675 Вт; струм динамічного фокусування від -1,2 до 0 А. Це забезпечує мінімальні параметри мікрорельєфу поверхонь та відсутність дефектів: усадочних пор, несплавлень, а також мінімальну кількість включень.

Ключові слова: електронно-променеве наплавлення, Ti_6Al_4V , технологічні параметри, растрова мікроскопія, шорсткість поверхні.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.252292

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОЗДОБЛЮВАЛЬНО-ЗМІЦНЮВАЛЬНОЇ ОБРОБКИ ЛОПАТОК ГАЗОТУРБІННИХ ДВИГУНІВ (с. 31–37)

Д. В. Павленко, Е. В. Кондратюк, Ю. І. Торба, Є. В. Вишнепольский, Д. М. Степанов

Досліджено вплив технологій оздоблювально-зміцнювальної обробки пера лопаток компресора зі сплаву ЕП718-ІД на характеристики якості поверхні, поверхневого шару та несучої здатності. Враховуючи особливу роль оздоблювально-зміцнювальної обробки у формуванні якості поверхневого шару досліджено різні варіанти технології обробки пера лопаток. Перо лопаток формували високошвидкісним рядковим фрезеруванням. Оздоблювально-зміцнювальний етап обробки пера включав операції ручного полірування та ультразвукового зміцнення сталевими кульками у різних комбінаціях. Встановлено основні закономірності формування шорсткості поверхонь пера, максимальної висоти мікронерівностей, мікротвердості поверхні та глибини поширення зміцненого шару залежно від комбінації оздоблювально-зміцнювальних методів обробки. Наведено результати випробувань на багатоциклову втому партій лопаток, оброблених за різними варіантами технологічних процесів. Встановлено ефективність полірування поверхні пера після зміцнювальної обробки. Для відновлення характеристик якості поверхневого шару після полірування запропоновано виконувати повторну зміцнювальну обробку. Показано, що застосування на оздоблювально-зміцнювальному етапі виготовлення лопаток технології подвійного деформаційного зміцнення з проміжним поліруванням дозволяє підвищити межу витривалості з 320 МПа до 400 МПа при одночасному підвищенні довговічності. Розроблено технологію оздоблювально-зміцнювального етапу обробки лопаток з нікелевих сплавів, які відрізняються значною в'язкістю. Показано, що, виходячи з критеріїв мінімальної трудомісткості обробки та максимальної витривалості лопаток, ефективним є застосування подвійного деформаційного зміцнення сталевими кульками в ультразвуковому полі з проміжним поліруванням.

Ключові слова: лопатки компресора, жароміцний сплав, поверхневий шар, оздоблювально-зміцнювальна обробка, подвійне зміцнення, границя витривалості.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.253378

ПОРІВНЯННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ФОРМУВАННЯ З'ЄДНАНЬ АЛЮМІНІЄВОГО СПЛАВА 7075 (Al-Zn-Mg-Cu) ЛАЗЕРНИМ, МІКРОПЛАЗМОВИМ ТА ЛАЗЕРНО-МІКРОПЛАЗМОВИМ ЗВАРЮВАННЯМ (с. 38–47)

В. М. Коржик, В. Ю. Хаскін, А. А. Гришок, С. І. Пелешенко, В. В. Квасницький, Н. М. Фіалко, О. М. Берднікова, Є. В. Ілляшенко, В. О. Щерецький, Yuhui Yao

Досліджено особливості формування структур нероз'ємних стикових з'єднань пластин товщиною 1,5 мм із високоміцного алюмінієвого сплаву 7075 системи Al-Zn-Mg-Cu. Зварювання плавленням цих з'єднань виконували трьома способами: лазерним, мікроплазмовим та гібридним лазерно-мікроплазмовим. Для реалізації двох останніх застосовували стислу дугу на різнополярному асиметричному струмі. Метою досліджень було встановлення схильності до утворення характерних дефектів та можливості їх усунення. Визначено, що при лазерному зварюванні формується мала (~5 %) об'ємна частка дефектів у вигляді пор, мінімізуються залишкові зварювальні деформації. Спостерігається зниження твердості переплавленого металу на 15 % з одночасним підвищенням твердості зони термічного впливу (ЗТВ) на 8...12 % відносно основного металу. В переплавленому металі утворюються порожнини розміром до 100 мкм, які є центром зародження гарячих тріщин довжиною 25...30 мкм. Спостерігаються оксидні включення в кореневій частині шва. При мікроплазмовому зварюванні підвищується (до 25 %) об'ємна частка дефектів переплавленого металу у вигляді пор розміром 10...105 мкм. Знижується твердість переплавленого металу на 30 % при твердості металу ЗТВ близької до основного металу. При лазерно-мікроплазмовому зварюванні об'ємна частка дефектів переплавленого металу у вигляді пор розміром 15...25 мкм знижується до ~5 %. Твердість переплавленого металу знижується на 15...20 % при твердості металу ЗТВ близької до основного металу. В нижній частині переплавленого металу утворюються порожнини ~100 мкм. Мікротріщини у металі шва не виявлені. Аналіз результатів досліджень показав перевагу лазерно-мікроплазмового способу. Цей спосіб зменшує використання лазерної енергії на 40...50 %, час існування зварювальної ванни (0,03...0,05 с) наближується до лазерного зварювання, усувається небезпека вигорання легуючих елементів.

Ключові слова: високоміцний сплав 7075, лазерне зварювання, мікроплазмове зварювання, лазерно-мікроплазмове зварювання, зерна металу, хімічний склад.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.252719

ОПТИМІЗАЦІЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЕПОКСИДНИХ КОМПЗИТІВ З МІКРОНАПОВНЮВАЧЕМ З ПЕРЕРОБЛЕНИХ ПОЛІУРЕТАНОВИХ ВІДХОДІВ З ВИКОРИСТАННЯМ СІРОГО РЕЛЯЦІЙНОГО АНАЛІЗУ І МЕТОДУ ТАГУЧІ (С. 48–58)

Salwa A. Abed, Ahmad A. Khalaf, Hayder Mohammed Mnati, Muammel M. Hanon

Досліджено механічні властивості та теплопровідність епоксидних композитів, армованих мікронаповнювачем з перероблених відходів контейнерів-розкладачок (RCCF). Проведено дослідження для визначення впливу двох змінних, а саме часу нагріву (НТ) в діапазоні 2, 4, 6 хв. та мас. % в діапазоні 1 %, 2 %, 4 % перероблених відходів контейнерів-розкладачок, що використовувалися в якості

армуючого наповнювача епоксидних композитів. Переробка поліуретанових відходів спрямована на контроль та підтримку екологічно чистого навколишнього середовища, що в даний час вважається складним завданням на додачу до зниження витрат при отриманні композитів. У відповідності з методом нагрівання без горіння відходи контейнерів-розкладачок були переведені з природного пластичного стану в тверді речовини, з яких потім отримують мікронаповнювач розміром 75 мкм шляхом подрібнення. Композити були класифіковані за допомогою сірого реляційного аналізу (GRA). Методом Тагучі було проаналізовано вплив кожного контрольного параметра на змінні відгуку. За допомогою програмного забезпечення MINITAB 19, були отримані рівняння регресії для кожної змінної механічних властивостей і теплопровідності для прогнозування властивостей епоксидних композитів. За результатами додавання перероблених відходів контейнерів-розкладачок до епоксидної смоли показано покращення механічних властивостей і теплопровідності композитів. Оптимальне значення двох факторів склало HT^2wt^2 , тобто HT і мас. % 4 хв та 2 % відповідно. Значення оптимізації для міцності на вигин, ударної в'язкості, міцності на розтяг, жорсткості і теплопровідності складають 68,2 МПа, 10,348 кДж/м², 21,08 МПа, 80 по Шору D і 0,504 Вт/м·С° відповідно. Було показано, що запропонований метод Тагучі, заснований на сірому реляційному аналізі, ефективний при вирішенні багатокритеріальних завдань прийняття рішень.

Ключові слова: переробка відходів поліуретану/контейнерів-розкладачок, механічні властивості, теплопровідність, метод Тагучі.