

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.337916

ESTABLISHING PATTERNS OF STRUCTURAL-PHASE TRANSFORMATIONS WHEN PROCESSING TECHNOGENIC WASTE OF HIGH-SPEED STEELS BY CARBON THERMAL REDUCTION (p. 6–11)**Victor Rebenko**National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,
Kyiv, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3370-3760>**Ivan Lukianenko**National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1043-9688>**Vadym Volokh**Kharkiv National Automobile and Highway University,
Kharkiv, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7975-6377>**Andrey Andreev**

Zaporizhzhia National University, Zaporizhzhia, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5390-6813>**Anatolii Poliakov**Separate Structural Subdivision «Starobilsk Applied College
of Volodymyr Dahl East Ukrainian National University»,
Dnipro, UkraineORCID: <https://orcid.org/0009-0001-4202-492X>**Mykhail Yamshinskij**National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2293-2939>**Dmytro Zhuravel**Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University,
Zaporizhzhia, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6100-895X>**Dmytro Ivanchenko**National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6162-8537>**Iryna Kovalenko**National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0087-4926>**Yevhen Chaplyhin**

Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7656-2681>

The object of this study is structural and phase transformations during the reduction of high-speed steel scale with carbon to obtain a resource-saving alloying additive. The task addressed is the loss of high-value elements when obtaining and using alloying material from man-made raw materials. Solving the problem is associated with determining technological indicators to enable the reduction of losses of the corresponding elements.

It has been determined that the phase composition of the scale had the manifestation of FeO, Fe₂O₃, Fe₃O₄, FeWO₄, MoO₂, FeW₃C, W₂C and Mo₂C. In the reduction products, a solid solution of alloying elements and carbon in α -Fe, residual oxides Fe₂O₃, Fe₃O₄ and carbides FeW₃C, WC, Mo₂C, Cr₇C₃, Cr₃C₂, Cr₂₃C₆, VC was found.

The disordered structure of the scale with particles of irregular shape after reduction was characterized by the presence of formations of polyhedral and rounded shapes with different contents of alloying elements. Residual oxygen was within 5.78–7.14% by weight. It was established that achieving a reduction degree of 79% is sufficient since the residual carbon in carbides provides an increased reducing ability during the further reduction of the oxide component in the liquid metal during alloying.

The porous structure causes faster dissolution compared to standard ferroalloys, which reduces the resources consumed by reducing the melting time. No phases with an increased tendency to sublimation were found in the obtained alloying additive. That is, there is no need to create additional conditions that prevent the loss of alloying elements during evaporation with the gas phase, which ensures an increase in the degree of extraction of the corresponding elements.

The properties of the obtained alloying additive allow it to be used in smelting in an electric arc furnace as a replacement for part of standard ferroalloys.

Keywords: scale, high-speed steel, oxide technogenic waste, carbon thermal reduction, structural-phase transformations.

References

- Petryshchev, A., Milko, D., Borysov, V., Tsymbal, B., Hevko, I., Borysova, S., Semenchuk, A. (2019). Studying the physicochemical transformations at resource-saving reduction melting of chrome-nickel-containing metallurgical waste. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (12 (98)), 59–64. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.160755>
- Sekiguchi, N. (2017). Trade specialisation patterns in major steelmaking economies: the role of advanced economies and the implications for rapid growth in emerging market and developing economies in the global steel market. *Mineral Economics*, 30 (3), 207–227. <https://doi.org/10.1007/s13563-017-0110-2>
- Çevik, E. (2021). Doğrudan İndirgeme Tekniğiyle Yüksek Demirli Sıcak Haddhane Tufalından Demirin Geri Kazanımı. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 9 (2), 581–590. <https://doi.org/10.29130/dubited.841486>
- 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. <https://doi.org/10.3103/s0967091212030059>
- Grigor'ev, S. M., Karpunina, M. S., Moskalenko, A. S. (1999). Razrabotka resursosberegayushey tekhnologii polucheniya khromsoderzhasikh briketov dlya legirovaniya stali. *Stal'*, 9, 32–35.
- Poliakov, A., Volokh, V., Andreev, A., Rebenko, V., Kurlov, V., Yamshinskij, M. et al. (2024). Identifying patterns in the structural-phase transformations when processing oxide doped waste with the use of carbon reducer. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (12 (131)), 25–30. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.313449>
- Volokh, V., Poliakov, A., Rebenko, V., Andreev, A., Yamshinskij, M., Lukianenko, I. et al. (2023). Identifying the features of structural and phase transformations during the processing of oxide waste from the production of high-speed steel. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (12 (125)), 17–22. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.288506>
- Bagdavadze D. I., Dzhaneldze I. S., Ukleba K. Z., Chumbadze M. T., Tsikaridze Z. N., Razmadze M. S. (2008). Termodinamicheskiy analiz karbotermicheskogo vosstanovleniya Cr₂O₃ i smesi oksidov Cr₂O₃-SiO₂, Cr₂O₃-SiO₂-FeO, MnO-SiO₂-Cr₂O₃. *Izvestiya Natsional'noy Akademii Nauk Gruzii*, 35 (2), 212–218.
- Petryshchev, A. S., Hryhoriev, S. M. (2009). Deiaki termodinamichni zakonomirnosti vuhletsevotermichnoho vidnovlennia vanadiyvmis-

noi metalooksydnoi syrovyny. Novi materialy i tekhnolohiyi v metalurhiyi ta mashynobuduvanni, 2, 115–120.

10. Smirnov, A., Petryshchev, A., Bilko, T., Andreev, A., Semenko, A., Skorobagatko, Y. (2023). Development of the Recycling of Alloyed Metallurgical Waste: Features of Phase and Structural Transformations. *Minerals*, 13 (9), 1171. <https://doi.org/10.3390/min13091171>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.337836

DETERMINATION OF THE ELECTROCHEMICAL DISSOLUTION FEASIBILITY OF A SUPERALLOY USED IN TURBINE COMPONENTS IN ALKALINE SOLUTIONS WITH ADDITIVES (p. 12–20)

Valerii Kotok

Ukrainian State University of Science and Technologies,
Dnipro, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8879-7189>

Tetyana Butyrina

Ukrainian State University of Science and Technologies,
Dnipro, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0619-6783>

Yuri Sknar

Ukrainian State University of Science and Technologies,
Dnipro, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1188-3684>

Oksana Demchyshyna

Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0828-3311>

Irina Sknar

Ukrainian State University of Science and Technologies,
Dnipro, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8433-1285>

Ella Chasova

Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4966-2326>

The object of this study was an electrochemical anodic dissolution of a heat-resistant nickel-based superalloy (≈ 62 wt.%), recovered from destroyed components of special-purpose equipment, which contains valuable metals such as Re (≈ 4 wt.%), Co, W, Mo, Ta, Nb, and others. The research addressed the problem of the lack of an effective electrochemical method for selectively extracting these components, particularly rhenium and other valuable elements, from such an alloy in alkaline media. The anodic behavior of the alloy was experimentally studied in 0.5 M NaOH in the presence of various complexing and activating additives (NaCl, citric acid, EDTA salt, and $\text{Na}_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7$). It was shown that none of the additives provided a significant acceleration of anodic dissolution. This was demonstrated by the fact that the increase in the average specific charge calculated for five cyclic voltammetry scans that contributed to alloy dissolution did not exceed 8%. In other cases, the values were significantly lower than in the base solution containing only alkali. It was established that the anodic dissolution process has a surface-selective nature: Ni, Co, Cr, Re, and Al are leached into the electrolyte, while a residual surface layer enriched in W, Ta, Nb, and Mo forms, hindering further dissolution. X-ray fluorescence analysis data confirmed changes in the chemical composition (Ni content decreased to ≈ 48 wt.%, W increased from ≈ 9 to ≈ 20 wt.% on the surface). Theoretical justification of the results is provided, based on the physicochemical properties of compounds that may form during anodic dissolution in the presence of additives. The absence of an activating effect from the additives suggests the need

for further studies on pure NaOH. The obtained data are of practical importance for the selective separation of superalloy elements before further processing.

Keywords: heat-resistant superalloy, electrochemical dissolution, alkaline electrolyte, passivation, selective leaching, rhenium.

References

1. Li, J., Zhou, L., Lu, N., Song, W., Liang, J., Zhou, Y. et al. (2025). Advances and challenges in energy field assisted additive manufacturing nickel-based superalloys: Printability, microstructure, and performance. *Journal of Materials Science & Technology*, 239, 124–152. <https://doi.org/10.1016/j.jmst.2025.03.010>
2. 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. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.155738>
3. Torralba, J. M., Meza, A., Kumaran, S. V., Mostafaei, A., Mohammadzadeh, A. (2025). From high-entropy alloys to alloys with high entropy: A new paradigm in materials science and engineering for advancing sustainable metallurgy. *Current Opinion in Solid State and Materials Science*, 36, 101221. <https://doi.org/10.1016/j.cossms.2025.101221>
4. Hu, C., Wei, Y., Cai, H., Chen, L., Wang, X., Zhang, X. et al. (2021). Research Progress of Platinum-Based Superalloys for High Temperature Applications. *Johnson Matthey Technology Review*, 65 (4), 535–555. <https://doi.org/10.1595/205651321x16221908118376>
5. The Consequences of China's new rare earths export restrictions. Center for Strategic and International Studies (CSIS). Available at: <https://www.csis.org/analysis/consequences-chinas-new-rare-earth-export-restrictions>
6. Babiy, K. V., Bubnova, O. A., Malieiev, Ye. V., Riumina, D. M., Levchenko, K. S., Ikol, O. O. (2024). Resursy stratehichnykh korysnykh kopalyn Ukrainy. Dnipro, 324. Available at: https://www.researchgate.net/publication/390199010_Resursi_strategichnih_korishnih_kopalyn_Ukraini
7. Kotok, V., Kovalenko, V. (2018). A study of the effect of tungstate ions on the electrochromic properties of $\text{Ni}(\text{OH})_2$ films. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (12 (95)), 18–24. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.145223>
8. Pure Ni Powder. Additive Manufacturing Material. Available at: <https://am-material.com/316l-powder/pure-ni-powder-20240923/>
9. LME Nickel. London Metal Exchange. Available at: <https://www.lme.com/Metals/Non-ferrous/LME-Nickel#Summary>
10. Kotok, V., Butyrina, T., Sknar, Y., Demchyshyna, O., Liashenko, A., Sukha, I. (2024). Determination of processing conditions for a heat-resistant superalloy used in turbine elements. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (12 (131)), 6–12. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.313452>
11. Li, D., Li, G., Wei, X., Ma, B., Huang, C., Chen, W. et al. (2024). Long-term aging behavior and mechanism of CMSX-4 nickel-based single crystal superalloy at 950°C and 1050°C. *Journal of Alloys and Compounds*, 1004, 175763. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2024.175763>
12. Nychka, J. A., Clarke, D. R., Meier, G. H. (2008). Spallation and transient oxide growth on PWA 1484 superalloy. *Materials Science and Engineering: A*, 490 (1-2), 359–368. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2008.01.043>
13. Stoller, V., Olbrich, A., Meese-Marktscheffel, J., Mathy, W., Erb, M., Niefeld, G., Gille, G. (2003). Pat. No. EP1312686A2. Electrochemical dissolution process for disintegrating superalloy scraps. Available at: <https://patents.google.com/patent/EP1312686A2/en>
14. Xu, W., Gao, K., Chen, K., Lu, J., Li, J., Li, B. et al. (2021). Study on Electrochemical Dissolution Mechanism of Nickel-Based Superalloy Scrap. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3986790>
15. Agapova, L. Y., Kilbayeva, S. K., Abisheva, Z. S., Sharipova, A. S. (2020). Complex electrochemical processing of technogenic wastes of

- rhenium-containing heat-resistant nickel alloys. *Non-Ferrous Metals*, 24–30. <https://doi.org/10.17580/nfm.2020.01.04>
16. Al-Kharafi, F. M., Ateya, B. G., Allah, R. M. A. (2004). Selective dissolution of brass in salt water. *Journal of Applied Electrochemistry*, 34 (1), 47–53. <https://doi.org/10.1023/b:jach.0000005616.41240.d0>
 17. Zaky, A. (2013). Electrochemical Dissolution and Passivation of Cu-Ni Alloys in Sodium Sulphate Aqueous Solution. *Universal Journal of Chemistry*, 1 (1), 1–6. <https://doi.org/10.13189/ujc.2013.010101>
 18. Chang, J.-K., Hsu, S.-H., Sun, I.-W., Tsai, W.-T. (2008). Formation of Nanoporous Nickel by Selective Anodic Etching of the Nobler Copper Component from Electrodeposited Nickel–Copper Alloys. *The Journal of Physical Chemistry C*, 112 (5), 1371–1376. <https://doi.org/10.1021/jp0772474>
 19. El-Sayed, A.-R., Abd El-Lateef, H. M., Mohran, H. S. (2015). Effect of nickel content on the anodic dissolution and passivation of zinc–nickel alloys in alkaline solutions by potentiodynamic and potentiostatic techniques. *Bulletin of Materials Science*, 38 (2), 379–391. <https://doi.org/10.1007/s12034-014-0814-7>
 20. Yagi, R., Okabe, T. H. (2024). Review: Rhenium and its smelting and recycling technologies. *International Materials Reviews*, 69 (2), 142–177. <https://doi.org/10.1177/09506608241229042>
 21. Yi, A., Jiang, H. (2023). Rhenium-molybdenum separation in an alkaline leaching solution of a waste superalloy by N263 extraction. *Arabian Journal of Chemistry*, 16 (3), 104516. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2022.104516>
 22. Maltseva, T. (2025). Proposed composition of complexes and ion associates in citric acid solutions containing nickel sulfamate and potassium perhenate. *Ukrainian Chemistry Journal*, 91 (4), 61–71. <https://doi.org/10.33609/2708-129x.91.4.2025.61-71>
 23. Nahle, A. (1998). Effect of EDTA on the electrochemical dissolution of tin in NaOH solution. *Bulletin of Electrochemistry*, 14 (2), 52–56.
 24. Stankovic, S., Grgur, B., Krstajic, N., Vojnovic, M. (2003). Kinetics of the zinc anodic dissolution reaction in near neutral EDTA solutions. *Journal of the Serbian Chemical Society*, 68 (3), 207–218. <https://doi.org/10.2298/jsc03030207s>
 25. Rong, H., Zhang, C., Sun, Y., Wu, L., Lian, B., Wang, Y., Chen, Y. et al. (2022). Electrochemical degradation of Ni-EDTA complexes in electrodeless plating wastewater using PbO₂-Bi electrodes. *Chemical Engineering Journal*, 431, 133230. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.133230>
 26. Ni₂P₂O₇ Solubility - Is Nickel(II) pyrophosphate Soluble? *ChemicalAid*. Available at: <https://www.chemicalaid.com/tools/solubility.php?hl=en&substance=Ni2P2O7>
 27. Mikhailov, I. F. (2016). Perspectives of development of X-ray analysis for material composition. *Functional Materials*, 23 (1), 5–14. <https://doi.org/10.15407/fm23.01.005>
 28. Kovalenko, V., Kotok, V., Yeroshkina, A., Zaychuk, A. (2017). Synthesis and characterisation of dyeintercalated nickelaluminium layered double hydroxide as a cosmetic pigment. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (12 (89)), 27–33. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.109814>
 29. Kotok, V., Kovalenko, V. (2018). Definition of the aging process parameters for nickel hydroxide in the alkaline medium. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (12 (92)), 54–60. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.127764>
 30. Kotok, V. A., Kovalenko, V. L., Solovov, V. A., Kovalenko, P. V., Ananchenko, B. A. (2018). Effect of deposition time on properties of electrochromic nickel hydroxide films prepared by cathodic template synthesis. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 13 (9), 3076–3086. Available at: https://www.arpnjournals.org/jeas/research_papers/rp_2018/jeas_0518_7034.pdf
 31. 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. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.91205>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.337175

IDENTIFYING THE MECHANICAL PROPERTIES AND SURFACE MORPHOLOGY OF ARTOCARPUS ELASTICUS FIBER BIOCOMPOSITES DUE TO THE EFFECT OF ALKALI TREATMENT FOR AUTOMOTIVE APPLICATIONS (p. 21–30)

Tri Mulyanto

Gunadarma University, Depok, West Java, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-6461-3256>**Firda Aulya Syamani**

National Research and Innovation Agency,

Cibinong, West Java, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2765-8120>**Ismadi**

National Research and Innovation Agency,

Cibinong, West Java, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6933-4090>**Deni Purnomo**

National Research and Innovation Agency,

Cibinong, West Java, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5360-8736>**Mona Nurjanah**

Gunadarma University, Depok, West Java, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-0121-5293>**Iman Setyadi**

Politeknik Negeri Jakarta, Kukusan, Kecamatan Beji,

Kota Depok, Jawa Barat, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-6672-5893>**Abdul Aziz Abdillah**

University of Birmingham,

Edgbaston Birmingham, United Kingdom

Politeknik Negeri Jakarta, Kukusan,

Kecamatan Beji, Kota Depok, Jawa Barat, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0775-5129>**Sulaksana Permana**

Gunadarma University, Depok, West Java, Indonesia

Universitas Indonesia, Pondok Cina,

Kecamatan Beji, Kota Depok, Jawa Barat, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3473-5892>

Lantung bark (*Artocarpus elasticus*), a natural fiber abundant in Bengkulu and other Indonesian regions, was studied as reinforcement in polyester-based biocomposites. The increasing demand for environmentally friendly materials has driven the development of natural fiber-based biocomposites as alternatives to synthetic materials. The main problem addressed is the weak interfacial bonding between untreated Lantung fibers and polymer matrices, reducing composite mechanical performance. To overcome this, fibers were treated with Sodium Hydroxide (NaOH) solutions at 2%, 4%, and 6% concentrations for 2 hours to improve surface morphology and chemical reactivity. After drying, treated fibers were fabricated into biocomposites using the hand lay-up pressing method. Testing included morphological observation via 3D microscopy and mechanical evaluation through tensile and bending tests based on ASTM standards. Results showed that 2% NaOH treatment provided the best biocomposite's mechanical properties, with a Modulus of Rupture (MOR) of 82.41 MPa and a Modulus of Elasticity (MOE) of 4.71 GPa. These improvements are explained by effective removal of surface impurities without significant fiber damage, enhancing fiber-matrix adhesion. The distinctive feature of this study is identifying an optimal alkali concentration that maintains fiber integrity while significantly improving mechanical performance. The

developed Lantung biocomposites have potential applications as eco-friendly interior or non-structural automotive components requiring moderate tensile strength and high flexural performance.

Keywords: Artocarpus elasticus, biocomposites, hand lay-up, mechanical properties, morphology, sodium hydroxide.

References

- Yogesh, M., Hari, R. A. N. (2017). Study on Pineapple Leaves Fibre and its Polymer based Composite: A Review. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 6 (1), 799–807. <https://doi.org/10.21275/art20164188>
- Melyna, E., Afridana, A. P. (2023). The Effect of Coffee Husk Waste Addition with Alkalisiation Treatment on the Mechanical Properties of Polypropylene Composites. *Equilibrium Journal of Chemical Engineering*, 7 (1), 14. <https://doi.org/10.20961/equilibrium.v7i1.68556>
- Zin, M. H., Abdan, K., Mazlan, N., Zainudin, E. S., Liew, K. E. (2018). The effects of alkali treatment on the mechanical and chemical properties of pineapple leaf fibres (PALF) and adhesion to epoxy resin. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 368, 012035. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/368/1/012035>
- Khan, M., Rahamathbaba, S., Mateen, M., Ravi Shankar, D., Manzoor Hussain, M. (2019). Effect of NaOH treatment on mechanical strength of banana/epoxy laminates. *Polymers from Renewable Resources*, 10 (1-3), 19–26. <https://doi.org/10.1177/2041247919863626>
- Peng, X., Zhong, L., Ren, J., Sun, R. (2010). Laccase and alkali treatments of cellulose fibre: Surface lignin and its influences on fibre surface properties and interfacial behaviour of sisal fibre/phenolic resin composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 41 (12), 1848–1856. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2010.09.004>
- Gundara, G., Nurzein, A. S., Wagiman, A., Ramadhan, A. R. (2023). Effect of Alkalized Pineapple Leaf Fiber Direction Variations on Tensile Strength and Bending of Polyester Matrix Composites. *Formosa Journal of Sustainable Research*, 2 (1), 87–96. <https://doi.org/10.55927/fjsr.v2i1.2703>
- Aravindh, M., Sathish, S., Ranga Raj, R., Karthick, A., Mohanavel, V., Patil, P. P. et al. (2022). A Review on the Effect of Various Chemical Treatments on the Mechanical Properties of Renewable Fiber-Reinforced Composites. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2022, 1–24. <https://doi.org/10.1155/2022/2009691>
- Annamalai, K., Soundararajan, S., Kalidas, S., Marialueedass, N. (2024). Explorations into the mechanical properties of composites reinforced with sisal and abaca natural fibers. *Matéria (Rio Janeiro)*. <https://doi.org/10.1590/1517-7076-rmat-2024-0585>
- Kabir, M. M., Alhaik, M. Y., Aldajah, S. H., Lau, K. T., Wang, H., Islam, M. M. (2021). Effect of Hemp Fibre Surface Treatment on the Fibre-Matrix Interface and the Influence of Cellulose, Hemicellulose, and Lignin Contents on Composite Strength Properties. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2021 (1). <https://doi.org/10.1155/2021/9753779>
- Setswalo, K., Molaletsa, N., Oladijo, O. P., Akinlabi, E. T., Sanjay, M. R., Siengchin, S. (2021). The Influence of Fiber Processing and Alkaline Treatment on the Properties of Natural Fiber-reinforced Composites: A Review. *Applied Science and Engineering Progress*. <https://doi.org/10.14416/j.asep.2021.08.005>
- Torres, G. B., Hiranobe, C. T., da Silva, E. A., Cardim, G. P., Cardim, H. P., Cabrera, F. C. et al. (2023). Eco-Friendly Natural Rubber-Jute Composites for the Footwear Industry. *Polymers*, 15 (20), 4183. <https://doi.org/10.3390/polym15204183>
- Osman, Z., Elamin, M., Ghorbel, E., Charrier, B. (2025). Influence of Alkaline Treatment and Fiber Morphology on the Mechanical, Physical, and Thermal Properties of Polypropylene and Polylactic Acid Biocomposites Reinforced with Kenaf, Bagasse, Hemp Fibers and Softwood. *Polymers*, 17 (7), 844. <https://doi.org/10.3390/polym17070844>
- Atmakuri, A., Palevicius, A., Janusas, G., Eimontas, J. (2022). Investigation of Hemp and Flax Fiber-Reinforced EcoPox Matrix Biocomposites: Morphological, Mechanical, and Hydrophilic Properties. *Polymers*, 14 (21), 4530. <https://doi.org/10.3390/polym14214530>
- Hestiawan, H., Zuliantoni, Supardi, N. I., Sudibyo (2025). Characteristics of Lantung Fiber and the Effect of Alkali Treatment and Water Absorption on the Mechanical Properties of Lantung Fiber Reinforced Composites. *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, 19 (02), 469–478. <https://doi.org/10.59038/jjmie/190217>
- Abraha, K. G., Debeli, D. K., Ghani, M. U., Tesfahunegn, A. A., Guo, J. (2023). Enset Fiber-Reinforced Polylactic Acid-Based Biocomposites for High-Performance Application. *Journal of Composites Science*, 7 (10), 407. <https://doi.org/10.3390/jcs7100407>
- Fadhillah, A. R., Hermawan, D., Wardhani, A. R. (2020). Pengaruh prosentase larutan NaOH pada proses alkalisasi serat kulit pohon waru (hibiscus tiliaceus) sebagai reinforcement komposit terhadap kekuatan tarik serat tunggal. *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 8 (2). <https://doi.org/10.24127/trb.v8i2.1159>
- Karthikeyan, A., Balamurugan, K., Kalpana, A. (2014). The effect of sodium hydroxide treatment and fiber length on the tensile property of coir fiber-reinforced epoxy composites. *Science and Engineering of Composite Materials*, 21 (3). <https://doi.org/10.1515/secm-2013-0130>
- ASTM D3039/D3039M-17. Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials. https://doi.org/10.1520/d3039_d3039m-17
- Saba, N., Paridah, M. T., Abdan, K., Ibrahim, N. A. (2016). Effect of oil palm nano filler on mechanical and morphological properties of kenaf reinforced epoxy composites. *Construction and Building Materials*, 123, 15–26. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.06.131>
- Malalli, C. S., Ramji, B. R. (2022). Mechanical characterization of natural fiber reinforced polymer composites and their application in Prosthesis: A review. *Materials Today: Proceedings*, 62, 3435–3443. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.276>
- Firda, M. (2025). Image of The Morphology Test Results of Lantung Bark (Artocarpus Elasticus). Research Center for Biomass and Bioproduct, National Research and Innovation Agency. Available at: https://drive.google.com/file/d/199r4myKg5-j3zEMVN9jDEx1m71-P1_t1/view?usp=drive_link
- Firda, M. (2025). Tensile Test Results of Artocarpus Elasticus Fibers Treated with Sodium Hydroxide (NaOH). Research Center for Biomass and Bioproduct, National Research and Innovation Agency. Available at: https://drive.google.com/file/d/1PWZMPA8r4U8qj6fsFwvehHM0RYkz3S6y/view?usp=drive_link
- Firda, M. (2025). Bending Test Results of Artocarpus Elasticus Fibers Treated with Sodium Hydroxide (NaOH). Research Center for Biomass and Bioproduct, National Research and Innovation Agency. Available at: https://drive.google.com/file/d/1AmL4tgckzHtOttyHhqFuQXhGF9abBNly/view?usp=drive_link
- Fitri, M., Mahzan, S., Anggara, F. (2021). The Mechanical Properties Requirement for Polymer Composite Automotive Parts - A Review. *International Journal of Advanced Technology in Mechanical, Mechatronics and Materials*, 1 (3), 125–133. <https://doi.org/10.37869/ijatec.v1i3.38>
- Kumar, R. S., Muralidharan, N., Sathyamurthy, R. (2020). Optimization of Alkali Treatment Process Parameters for Kenaf Fiber: Experiments Design. *Journal of Natural Fibers*, 19 (11), 4276–4285. <https://doi.org/10.1080/15440478.2020.1856276>
- Simamora, P., Simanjuntak, J., Sinulingga, K., Laksono, A. D. (2023). Mechanical Properties of Polypropylene Composites with different Reinforced Natural Fibers – A Comparative Study. *Journal of Ecological Engineering*, 24 (7), 311–317. <https://doi.org/10.12911/22998993/164757>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.337916

ВИЯВЛЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ СТРУКТУРНО-ФАЗОВИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ ПРИ ПЕРЕРОБЦІ ТЕХНОГЕННИХ ВІДХОДІВ ШВИДКОРІЗЖУЧИХ СТАЛЕЙ ВУГЛЕЦЕВОТЕРМІЧНИМ ВІДНОВЛЕННЯМ (с. 6–11)**В. І. Ребенко, І. В. Лук'яненко, В. О. Волох, А. М. Андреев, А. М. Поляков, М. М. Ямшинський, Д. П. Журавель, Д. В. Іванченко, І. В. Коваленко, Є. М. Чаплигін**

Об'єктом дослідження є структурно-фазові перетворення при відновленні вуглецем окалини швидкокоріжучої сталі щодо отримання ресурсозберігаючої легуючої добавки. Проблема полягає у втратах високовартісних елементів при отриманні та використанні легуючого матеріалу із техногенної сировини. Вирішення проблеми пов'язане із визначенням технологічних показників щодо забезпечення зменшення втрат відповідних елементів. Визначено, що у фазовому складі окалини мали прояв FeO , Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , FeWO_4 , MoO_2 , FeW_3C , W_2C та Mo_2C . В продуктах відновлення виявлено твердий розчин легуючих елементів та вуглецю в $\alpha\text{-Fe}$, залишкові оксиди Fe_2O_3 , Fe_3O_4 та карбіди FeW_3C , WC , Mo_2C , Cr_7C_3 , Cr_3C_2 , Cr_{23}C_6 , VC . Розупорядкована структура окалини з частками неправильної форми після відновлення характеризувалася наявністю утворень багатогранної та округлої форми з різним вмістом легуючих елементів. Залишковий кисень знаходився в межах 5,78–7,14% мас. Встановлено, що досягнення ступеня відновлення 79% є достатнім, так як залишковий вуглець в карбідах забезпечує підвищену відновну здатність при довідновленні оксидної складової в рідкому металі під час легування. Пориста структура обумовлює більш швидке розчинення відносно стандартних феросплавів, що скорочує витрачені ресурси при зменшенні часу плавки. В отриманій легуючій добавці не виявлено фаз, що мають підвищену схильність до сублімації. Тобто немає потреби для створення додаткових умов, що запобігають втратам легуючих елементів при випаровуванні з газовою фазою, що забезпечує збільшення ступеня вилучення відповідних елементів. Властивості отриманої легуючої добавки дають можливість використання при виплавці в електродуговій печі в якості заміни частини стандартних феросплавів.

Ключові слова: окалина, швидкокоріжуча сталь, оксидні техногенні відходи, вуглецевотермічне відновлення, структурно-фазові перетворення.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.337836

ВИЗНАЧЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ЕЛЕКТРОХІМІЧНОГО РОЗЧИНЕННЯ СУПЕРСПЛАВУ, ЩО ВИКОРИСТОВУЄТЬСЯ В ЕЛЕМЕНТАХ ТУРБІН, У ЛУЖНИХ РОЗЧИНАХ ІЗ ДОБАВКАМИ (с. 12–20)**В. А. Коток, Ю. Є. Скар, Т. Є. Бугиріна, І. В. Скар, О. В. Демчишина, Е. В. Часова**

Об'єктом дослідження є електрохімічне анодне розчинення жаростійкого нікелевого суперсплаву на основі нікелю (приблизно 62%), отриманого із знищених вузлів спеціальної техніки, який містить цінні метали зокрема: реній (приблизно 4 %), кобальт, вольфрам, молибден, тантал, ніобій та інші. Проблема, що вирішувалася, була відсутність ефективного електрохімічного методу селективного вилучення цих компонентів, зокрема ренію та других цінних елементів з суперсплаву такого складу, у лужному середовищі. Експериментально досліджено анодну поведінку сплаву у 0.5 М NaOH за наявності різних комплексоутворювальних та активуючих добавок (NaCl , лимонна кислота, сіль ЕДТА, дігідропірофосфат натрію). Показано, що жодна з добавок не забезпечує суттєвого прискорення анодного розчинення. Останнє продемонстровано тим, що підвищення значення середніх питомих кількостей електрики, розрахованих для 5 циклів циклічної вольтамперних кривих, що пішли на розчинення сплаву, в усіх випадках не перевищувало 8%. В інших випадках значення були суттєво менше за базовий розчин, що містив тільки луг. Встановлено, що анодне розчинення має поверхнево-вибірковий характер: Ni , Co , Cr , Re , Al вилугуються в електроліт, а на поверхні формується шар, збагачений W , Ta , Nb , Mo . Зміна хімічного складу підтверджена даними рентгенофлуоресцентного аналізу (зниження вмісту Ni до приблизно 48%, підвищення W з приблизно 9 до 20% на поверхні). Приведено теоретичне обґрунтування приведених результатів, яке базується на фізико-хімічних властивостях сполук, які можуть утворюватись при анодному розчиненні з добавками. Відсутність активуючого ефекту від добавок свідчить про доцільність подальших досліджень у чистому NaOH . Отримані дані мають практичне значення для селективного розділення компонентів суперсплаву перед подальшою глибокою переробкою.

Ключові слова: жаростійкий суперсплав, електрохімічне розчинення, лужний електроліт, пасивація, вибіркве вилугування, реній.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.337175

ВИЗНАЧЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТА МОРФОЛОГІЇ ПОВЕРХНІ ВОЛОКОННИХ БІОКОМПОЗИТІВ ARTOCARPUS ELASTICUS ВНАСЛІДОК ВПЛИВУ ОБРОБКИ ЛУТАМИ ДЛЯ АВТОМОБІЛЬНОГО ЗАСТОСУВАННЯ (с. 21–30)**Tri Mulyanto, Firda Aulya Syamani, Ismadi, Deni Purnomo, Mona Nurjanah, Iman Setyadi, Abdul Azis Abdillah, Sulaksana Permana**

Кору лантунга (*Artocarpus elasticus*), натуральне волокно, поширене в Бенгкулу та інших регіонах Індонезії, було досліджено як армуючий матеріал у біокомпозитах на основі поліестеру. Зростаючий попит на екологічно чисті матеріали стимулював розробку

біокомпозитів на основі натуральних волокон як альтернативи синтетичним матеріалам. Основною проблемою, яку було вирішено, є слабкий міжфазний зв'язок між необробленими волокнами лантунга та полімерними матрицями, що знижує механічні характеристики композиту. Щоб подолати цю проблему, волокна обробляли розчинами гідроксиду натрію (NaOH) у концентраціях 2%, 4% та 6% протягом 2 годин для покращення морфології поверхні та хімічної реакційної здатності. Після сушіння оброблені волокна були перетворені на біокомпозити методом ручного пресування. Тестування включало морфологічне спостереження за допомогою 3D-мікроскопії та механічну оцінку за допомогою випробувань на розтяг та вигин відповідно до стандартів ASTM. Результати показали, що обробка 2% NaOH забезпечила найкращі механічні властивості біокомпозиту з модулем розриву (MOR) 82,41 МПа та модулем пружності (MOE) 4,71 ГПа. Ці покращення пояснюються ефективним видаленням поверхневих домішок без значного пошкодження волокон, що покращує адгезію волокон до матриці. Відмінною особливістю цього дослідження є визначення оптимальної концентрації лугу, яка підтримує цілісність волокон, водночас значно покращуючи механічні характеристики. Розроблені біокомпозити лантунга мають потенційне застосування як екологічно чисті компоненти інтер'єру або неструктурні автомобільні компоненти, що потребують помірної міцності на розтяг та високої міцності на згин.

Ключові слова: Artocarpus elasticus, біокомпозити, ручне укладання, механічні властивості, морфологія, гідроксид натрію.