

ABSTRACT AND REFERENCES

MATERIALS SCIENCE

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.313452

DETERMINATION OF PROCESSING CONDITIONS FOR A HEAT-RESISTANT SUPERALLOY USED IN TURBINE ELEMENTS (p. 6–12)**Valerii Kotok**Ukrainian State University of Chemical Technology,
Dnipro, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8879-7189>**Tatyana Butyrina**Ukrainian State University of Chemical Technology,
Dnipro, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0619-6783>**Yuri Sknar**Ukrainian State University of Chemical Technology,
Dnipro, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1188-3684>**Oksana Demchyshyna**Kryvyi Rih National University,
Kryvyi Rih, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0828-3311>**Anna Liashenko**Kryvyi Rih National University,
Kryvyi Rih, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9285-9431>**Irina Sukha**Ukrainian State University of Chemical Technology,
Dnipro, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5579-2047>

A heat-resistant superalloy from destroyed special equipment was used for further processing to extract valuable metals such as rhenium, nickel, cobalt, tungsten, molybdenum, niobium, tantalum, and others. The need to develop an effective method for the electrochemical dissolution of this superalloy is due to the shortage and high cost of the component metals, especially rhenium. The electrochemical dissolution method is effective for the rapid and complete dissolution of such hard alloys, optimizing the extraction process of valuable components.

In the course of the work, the composition of the unknown superalloy was determined, and the possible grade of the alloy was identified as JS32-VI. For the first time, a comparison of the anodic behavior of the heat-resistant superalloy containing rhenium in various electrolyte solutions, including methanesulfonic acid, was carried out. This comparison helped determine which electrolyte is best suited for dissolving the superalloy and extracting valuable metals from it.

The results showed that solutions containing chloride ions (NaCl and HCl) are the most effective for the electrochemical dissolution of the superalloy. These results are explained by the fact that chloride ions help remove the passive oxide film from the metal surface. Thus, chloride solutions provide more effective dissolution of the superalloy compared to methanesulfonic acid and sulfuric acid.

The key finding of the study is the identification of chloride solutions as the most effective for dissolving the superalloy, which optimizes the process of extracting valuable metals. The application

of these methods will contribute to resource conservation and the reduction of production costs, which is important for industries using such materials.

Keywords: turbine elements, electrochemical dissolution, methanesulfonic acid, hydrochloric acid, sodium chloride, sulfuric acid.

References

- Zhang, Y., Zuo, T. T., Tang, Z., Gao, M. C., Dahmen, K. A., Liaw, P. K., Lu, Z. P. (2014). Microstructures and properties of high-entropy alloys. *Progress in Materials Science*, 61, 1–93. <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2013.10.001>
- Jiao, Z., Yang, T. (Eds.) (2022). *Advanced Multicomponent Alloys: From Fundamentals to Applications*. Springer Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-19-4743-8>
- Zhang, W., Huang, L., Mi, X., Xie, H., Feng, X., Ahn, J. H. (2024). Researches for higher electrical conductivity copper-based materials. *CMat*, 1 (1). <https://doi.org/10.1002/cmt.2.13>
- Binder Jetting and beyond: Optimising the use of metal powders for additive manufacturing. *METAL AM*. Available at: <https://www.metal-am.com/articles/binder-jetting-and-beyond-optimising-the-use-of-metal-powders-for-additive-manufacturing/>
- Economics of Metal Additive Manufacturing. *Digital Alloys*. Available at: <https://www.digitalalloys.com/blog/economics-metal-additive-manufacturing/>
- Kovalenko, V., Kotok, V., Vlasov, S. (2018). Development of the electrochemical synthesis method of ultrafine cobalt powder for a superalloy production. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (6 (92)), 41–47. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.126928>
- Kovalenko, V., Kotok, V., Vlasov, S. (2018). Definition of synthesis parameters of ultrafine nickel powder by direct electrolysis for application in superalloy production. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (6 (91)), 27–33. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.121595>
- Murakumo, T., Kobayashi, T., Koizumi, Y., Harada, H. (2004). Creep behaviour of Ni-base single-crystal superalloys with various γ' volume fraction. *Acta Materialia*, 52 (12), 3737–3744. <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2004.04.028>
- Shen, L., Tesfaye, F., Li, X., Lindberg, D., Taskinen, P. (2021). Review of rhenium extraction and recycling technologies from primary and secondary resources. *Minerals Engineering*, 161, 106719. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2020.106719>
- Ganji, D. K., Rajyalakshmi, G. (2020). Influence of Alloying Compositions on the Properties of Nickel-Based Superalloys: A Review. *Recent Advances in Mechanical Engineering*, 537–555. https://doi.org/10.1007/978-981-15-1071-7_44
- Brainard, J. L. (2023). The availability of primary rhenium as a by-product of copper and molybdenum mining. *Mineral Economics*, 37 (3), 445–461. <https://doi.org/10.1007/s13563-023-00392-0>
- Rhenium Prices. *Strategic Metals Invest*. Available at: <https://strategicmetalsinvest.com/rhenium-prices/>
- Leszczyńska-Sejda, K., Palmowski, A., Ochmański, M., Benke, G., Grzybek, A., Orda, S. et al. (2024). Recycling of Rhenium from Superalloys and Manganese from Spent Batteries to Produce Manganese(II) Perhenate Dihydrate. *Recycling*, 9 (3), 36. <https://doi.org/10.3390/recycling9030036>
- Srivastava, R. R., Kim, M., Lee, J. (2016). Novel Aqueous Processing of the Reverted Turbine-Blade Superalloy for Rhenium Recovery.

- Industrial & Engineering Chemistry Research, 55 (29), 8191–8199. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.6b00778>
15. Kovalenko, V., Kotok, V. (2020). Investigation of the anodic behavior of w-based superalloy for electrochemical selective treatment. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (12 (108)), 55–60. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.218355>
 16. Xu, D., Zheng, S., Chen, P., Wei, B., Zhang, J., Cheng, J. (2022). Recycling of Rhenium from W–Re-Alloyed Scraps by a Pyrometallurgical Method. *Journal of Sustainable Metallurgy*, 8 (1), 148–155. <https://doi.org/10.1007/s40831-021-00487-4>
 17. Olbrich, A., Meese-Marktscheffel, J., Jahn, M., Zertani, R., Stoller, V., Erb, M., Kutzler, U. (2006). Pat. No. US20090255372A1. Recycling of superalloys with the aid of an alkali metal salt bath. Available at: <https://patents.google.com/patent/US20090255372A1/en?q=12306853>
 18. Ferron, C. G., Seeley, L. E. (2010). Pat. No. US8956582B2. Rhenium recovery. Available at: <https://patents.google.com/patent/US8956582B2/en?q=8956582>
 19. Guo, Z., Gong, Y., Lu, W. (2007). Electrochemical studies of nickel deposition from aqueous solution in super-gravity field. *Science in China Series E: Technological Sciences*, 50 (1), 39–50. <https://doi.org/10.1007/s11431-007-0001-9>
 20. Sunaba, T., Ito, T., Miyata, Y., Asakura, S., Shinohara, T., Yakou, T. et al. (2014). Influence of Chloride Ions on Corrosion of Modified Martensitic Stainless Steels at High Temperatures Under a CO₂ Environment. *CORROSION*, 70 (10), 988–999. <https://doi.org/10.5006/1141>
 21. Electrolysis. Refining of Copper. Available at: <https://science.jrank.org/pages/2353/Electrolysis-Refining-copper.html>
 22. Sknar, Yu. E., Amirulloeva, N. V., Sknar, I. V., Danylov, F. I. (2016). Influence of Methylsulfonate Anions on the Structure of Electrolytic Cobalt Coatings. *Materials Science*, 52 (3), 396–401. <https://doi.org/10.1007/s11003-016-9970-9>
 23. Sknar, I. V., Sknar, Yu. E., Savchuk, O. O., Baskevich, A. S., Kozhura, O., Hrydnieva, T. V. (2020). Electrodeposition of copper from a methanesulphonate electrolyte. *Journal of chemistry and technologies*, 28 (1), 1–9. <https://doi.org/10.15421/082001>
 24. 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>
 25. ZHS32-VI. Aloro. Available at: <https://aloro.org/grades/su/gr-gs32-vi>
 26. Zhang, B., Wang, J., Wu, B., Guo, X. W., Wang, Y. J., Chen, D. et al. (2018). Unmasking chloride attack on the passive film of metals. *Nature Communications*, 9 (1). <https://doi.org/10.1038/s41467-018-04942-x>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.313972

IDENTIFYING FAILURE FACTORS DUE TO CORROSION EROSION ON PRESSURED STEAM PIPE ELBOW IN GEOTHERMAL POWER PLANT (p. 13–24)

Iskandar Muda

Jenderal Achmad Yani University,
Cimahi, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-6343-9198>

Bambang Widyanto

Jenderal Achmad Yani University,
Cimahi, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1994-4389>

This paper presents the findings of a corrosion erosion failure analysis of elbow pipe materials used to flow high-pressure water

from underground. The failed elbow pipe material was above the wellhead forming a straight line in the longitudinal direction with a pipe length of 6200 feet below the ground surface. The working fluid in the elbow pipe was 25 % steam and 75 % water, flowing in the elbow pipe with a media flow rate of 180 tons per hour, a pressure of 22 bar, and a temperature of 220 °C. Elbow tubes were made of low carbon steel with Standard ASTM A234 having an outer diameter of 304.8 mm and a wall thickness of 9.271 mm. Macroscopic testing, chemical composition analysis, metallographic testing, hardness testing, X-ray diffraction testing, SEM, and EDS are a few of the test types conducted. The study's findings showed that the elbow tubes experienced a thinning process on the inner wall of the outer curvature side with a rough and wavy surface texture or appearance. This type of failure is known as erosion-corrosion. The level of erosion-corrosion failure that occurs is greatly influenced by the pH of the fluid being flowed reaching 2.67–2.91, this is due to the very high Cl⁻ of 1290 ppm, so the higher the rate of erosion-corrosion that occurs. These materials are the most popular and widely used in the oil and gas sector. However, this pipe has weaknesses because it is susceptible to erosion-corrosion. Therefore, it is very important to choose the right material, namely, a material that is resistant to erosion-corrosion.

Keywords: corrosion erosion, elbow pipe, turbulence, tubercles, fibrous fractures, thinning thickness.

References

1. Tawancy, H. M., Al-Hadhrami, L. M., Al-Yousef, F. K. (2013). Analysis of corroded elbow section of carbon steel piping system of an oil-gas separator vessel. *Case Studies in Engineering Failure Analysis*, 1 (1), 6–14. <https://doi.org/10.1016/j.csefa.2012.11.001>
2. Zhu, M., Sun, L., Ou, G., Wang, K., Wang, K., Sun, Y. (2016). Erosion corrosion failure analysis of the elbow in sour water stripper overhead condensing reflux system. *Engineering Failure Analysis*, 62, 93–102. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2016.01.002>
3. Kusmono, Khasani (2017). Analysis of a failed pipe elbow in geothermal production facility. *Case Studies in Engineering Failure Analysis*, 9, 71–77. <https://doi.org/10.1016/j.csefa.2017.08.001>
4. Lospa, A. M., Dudu, C., Ripeanu, R. G., Dinita, A. (2019). CFD Evaluation of sand erosion wear rate in pipe bends used in technological installations. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 514 (1), 012009. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/514/1/012009>
5. Khan, R., Ya, H. H., Pao, W., Khan, A. (2019). Erosion–Corrosion of 30°, 60°, and 90° Carbon Steel Elbows in a Multiphase Flow Containing Sand Particles. *Materials*, 12 (23), 3898. <https://doi.org/10.3390/ma12233898>
6. Zeng, L., Zhang, G. A., Guo, X. P. (2014). Erosion–corrosion at different locations of X65 carbon steel elbow. *Corrosion Science*, 85, 318–330. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2014.04.045>
7. Dooley, R. B. (2008). Flow-accelerated corrosion in fossil and combined cycle/HRSG plants. *Power Plant Chemistry*, 10 (2), 68–89. Available at: <http://competitivepower.us/pub/pdfs/flow-accelerated-corrosion-in-fossil-and-cc-hrsg-plants.pdf>
8. Haribhakti, P., Joshi, P. B., Kumar, R. (2018). Failure Investigation of Boiler Tubes. *ASM International*. <https://doi.org/10.31399/asm.tb.fibtca.9781627082532>
9. Tomarov, G. V., Kolesnikov, D. V., Semenov, V. N., Podverbny, V. M., Shipkov, A. A. (2015). Prevention of Corrosion and Scaling in Geothermal Power Plants Equipment. *Proceedings World Geothermal Congress 2015*. Available at: <https://www.geothermal-energy.org/pdf/IGastandard/WGC/2015/27032.pdf>

10. Nogara, J., Zarrouk, S. J. (2018). Corrosion in geothermal environment Part 2: Metals and alloys. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 1347–1363. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.091>
11. Adnyana, D. N. (2020). Cavitation-erosion study in elbow tubes of a low-pressure evaporator outlet header. *Metalurgi*, 35 (1), 33. <https://doi.org/10.14203/metalurgi.v35i1.561>
12. Chen, J., Zhang, Q., Li, Q., Fu, S., Wang, J. (2014). Corrosion and tribocorrosion behaviors of AISI 316 stainless steel and Ti6Al4V alloys in artificial seawater. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 24 (4), 1022–1031. [https://doi.org/10.1016/s1003-6326\(14\)63157-5](https://doi.org/10.1016/s1003-6326(14)63157-5)
13. Aribo, S., Barker, R., Hu, X., Neville, A. (2013). Erosion–corrosion behaviour of lean duplex stainless steels in 3.5% NaCl solution. *Wear*, 302 (1-2), 1602–1608. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2012.12.007>
14. Rajahram, S. S., Harvey, T. J., Walker, J. C., Wang, S. C., Wood, R. J. K. (2012). Investigation of erosion–corrosion mechanisms of UNS S31603 using FIB and TEM. *Tribology International*, 46 (1), 161–173. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2011.05.012>
15. Jones, M., Llewellyn, R. J. (2009). Erosion–corrosion assessment of materials for use in the resources industry. *Wear*, 267 (11), 2003–2009. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2009.06.025>
16. Hussain, E. A. M., Robinson, M. J. (2007). Erosion–corrosion of 2205 duplex stainless steel in flowing seawater containing sand particles. *Corrosion Science*, 49 (4), 1737–1754. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2006.08.023>
17. Wood, R. J. K. (2006). Erosion–corrosion interactions and their effect on marine and offshore materials. *Wear*, 261 (9), 1012–1023. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2006.03.033>
18. Neville, A., Hodgkiess, T., Dallas, J. T. (1995). A study of the erosion–corrosion behaviour of engineering steels for marine pumping applications. *Wear*, 186–187, 497–507. [https://doi.org/10.1016/0043-1648\(95\)07145-8](https://doi.org/10.1016/0043-1648(95)07145-8)
19. Watson, S. W., Friedersdorf, F. J., Madsen, B. W., Cramer, S. D. (1995). Methods of measuring wear–corrosion synergism. *Wear*, 181–183, 476–484. [https://doi.org/10.1016/0043-1648\(95\)90161-2](https://doi.org/10.1016/0043-1648(95)90161-2)

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.313449

IDENTIFYING PATTERNS IN THE STRUCTURAL-PHASE TRANSFORMATIONS WHEN PROCESSING OXIDE DOPED WASTE WITH THE USE OF CARBON REDUCER (p. 25–30)

Anatolii Poliakov

Separate Structural Subdivision
“Starobilsk Applied College of
Volodymyr Dahl East Ukrainian National University”,
Dnipro, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-4202-492X>

Vadym Volokh

Kharkiv National Automobile and Highway University,
Kharkiv, Ukraine

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

Andrey Andreev

Zaporizhzhia National University,
Zaporizhzhia, Ukraine

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

Victor Rebenko

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,
Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3370-3760>

Viacheslav Kurlov

Separate Structural Subdivision
“Starobilsk Applied College
of Volodymyr Dahl East Ukrainian National University”,
Dnipro, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0304-3746>

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>

Dmytro Ivanchenko

National Technical University of Ukraine
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”,
Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6162-8537>

Dmytro Zhuravel

Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University,
Zaporizhzhia, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6100-895X>

Iryna Kovalenko

National Technical University of Ukraine
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”,
Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0087-4926>

The object of this study is the structural and phase transformations during the carbon reduction of tungsten high-speed steel slag in order to obtain a resource-saving alloying additive. The problem is the loss of precious elements when obtaining and using alloying material from man-made raw materials. Solving the problem is related to the definition of technological parameters to enable the reduction of losses of the corresponding elements. As a result of increasing the degree of scale reduction from 33 % to 72 % and 85 %, the strengthening of the manifestation of the solid solution of carbon and alloying elements in α -Fe relative to FeWO_4 , FeO and Fe_3O_4 was revealed. Fe_3C , WC , W_2C , FeW_3C , $\text{Fe}_3\text{W}_3\text{C}$, $\text{Fe}_6\text{W}_6\text{C}$, VC , V_2C , Cr_3C_2 , Cr_7C_3 and Cr_{23}C_6 also appeared. Along with this, rounded and multifaceted particles with different chemical composition and the formation of a spongy microstructure were found. It was established that the most acceptable degree of recovery is 85 %. But achieving a recovery rate of 72 % is also sufficient. This is explained by the fact that the residual carbon in the carbides provides an increased reducing capacity, which is realized during the further reduction of oxides in the liquid metal during alloying. The spongy microstructure results in faster dissolution in contrast to standard ferroalloys, which provides a reduction in melting time while reducing spent resources. No phases with an increased tendency to sublimation were found in the obtained alloying material. That is, no additional conditions are needed that restrain the loss of alloying elements during evaporation with a gaseous phase, which provides an increase in the degree of extraction of the corresponding elements. The properties of the resulting alloying material make it possible to use it in metallurgical production when smelting alloyed steel grades in an electric arc furnace, the composition of which does not have strict restrictions on the carbon content.

Keywords: oxide man-made waste, high-speed steel, slag, carbon reduction, structural-phase transformations.

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. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2016.04.012>
- Petryshchev, A., Milko, D., Borysov, V., Tsymbal, B., Hevko, I., Borysova, S., Semenchuk, A. (2019). Studying the physical-chemical transformations at resourcesaving reduction melting of chrome–nickelcontaining 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 steel-making 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>
- 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.ijser.org/research-paper/Preparation-of-Iron-Powders-by-Reduction-Rolling-Mill-Scale.pdf>
- 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>
- Smirnov, A., Petryshchev, A., Bilko, T., Andreev, A., Semenko, A., Skorobogatko, 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>
- Tsymbal, B., Petryshchev, A., Anrieva, L., Sharovatova, O. (2022). Improving Occupational Safety and Health in the Processing of Metallurgical Waste and Features of their Microstructure Transformation. *Key Engineering Materials*, 925, 187–196. <https://doi.org/10.4028/p-f9x0w1>
- Borysov, V., Torubara, O., Volokh, V., Poliakov, A., Yamshinskij, M., Lukianenko, I. et al. (2022). Identifying features in the structural and phase composition of the products of recycling of the scale of high-speed cutting steel by carbon thermal reduction. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (12 (120)), 46–51. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.269507>
- Kozyrev, N. A., Galevsky, G. V., Valuev, D. V., Shurupov, V. M., Kozyreva, O. E. (2015). Surfacing With Tungsten-containing Ores. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 91, 012009. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/91/1/012009>
- Islam, M., Martinez-Duarte, R. (2017). A sustainable approach for tungsten carbide synthesis using renewable biopolymers. *Ceramics International*, 43 (13), 10546–10553. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2017.05.118>
- Hryhoriev, S., Petryshchev, A., Sergienko, O., Milko, D., Stepanenko, A., Kozhemiakin, G. et al. (2018). The study of physicalchemical patterns of resourcesaving recycling of tungstencontaining ore raw materials by solidphase reduction. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (12 (91)), 4–9. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.122743>
- 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. [https://doi.org/10.1016/s1003-6326\(15\)63731-1](https://doi.org/10.1016/s1003-6326(15)63731-1)
- Chen, S. Y., Chu, M. S. (2014). A new process for the recovery of iron, vanadium, and titanium from vanadium titanomagnetite. *The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 114, 481–487. Available at: <https://www.scielo.org.za/pdf/jsaimm/v114n6/14.pdf>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.312442

DEVELOPMENT OF Fe-Cr-C ALLOYS WITH HIGH Mn CONTENT FOR BONE IMPLANT (p. 31–38)

Ratna Kartikasari

Institut Teknologi Nasional Yogyakarta, Caturtunggal, Depok, Sleman, DIY, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8859-3258>

Sugiarto Kadiman

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

Rivan Muhfidin

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

Ihwanul Aziz

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

Triyono

Universitas Sebelas Maret Surakarta Kec. Jebres, Surakarta, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4562-0628>

The object of this study is to combine the properties of Mn and the advantages of Fe-Cr-C to improve biomaterial compatible characteristics. Three alloys of Fe-Cr-C with compositions of 12 wt. % Mn, 16 wt. % Mn, and 20 wt. % Mn, were investigated. Microstructural analysis was carried out using a scanning electron microscope (SEM), and a Vickers hardness test kit was used to evaluate the hardness. The pin-on-disc method was used for the dry slide wear test, and the corrosion test was carried out using the three-electrode cell polarization method. The hardness value of Fe-Cr-C alloy increased by 28.7 % with the increase of Mn content from 12 wt. % (231.8 VHN) to 20 wt. % (298.4 VHN). The tensile strength value increased by 30.3 % with an increase in Mn content from 12 wt. % (522.69 MPa) to 20 wt. % (680.89 MPa), while the strain value decreased by 30.9 %. However, impact toughness did somewhat decline, from 0.213 J/mm² at 12 wt. % Mn to 0.169 J/mm² at 20 wt. % Mn. The wear rate results for Fe-Cr-C 20 wt. % Mn 0.000156 mm³/kg, show a reduction of more than 15 wt. % when compared to Fe-Cr-C 12 wt. % Mn because of an increase in the hard-intermetallic area. Additionally, corrosion resistance improved significantly, with the corrosion rate decreasing from 0.005814 mm/yr at 12 wt. % Mn to 0.001780 mm/yr at 20 wt. % Mn, demonstrating that higher Mn content reduces material degradation in corrosive environments. Based on the experimental results, Fe-Cr-C 20 wt % Mn alloy has the highest mechanical and corrosion resistance of the three types of alloys. Fe-Cr-C with high Mn alloys are promising candidates for application as biomaterials for bone implants by optimizing the Mn content and corrosion resistance.

Keywords: Fe-Cr-C alloy, biomaterials, mechanical properties, corrosion resistance, Mn content, orthopedic implants.

References

- Wang, W., Ouyang, Y., Poh, C. K. (2011). Orthopaedic Implant Technology: Biomaterials from Past to Future. *Annals of the Academy of Medicine, Singapore*, 40 (5), 237–244. <https://doi.org/10.47102/annals-acadmedsg.v40n5p237>
- Poinescu, A. A., Ion, R.-M. (2018). 316L Stainless Steel/Hydroxyapatite Composite Materials for Biomedical Applications. *Hydroxyapatite - Advances in Composite Nanomaterials, Biomedical Applications and Its Technological Facets*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.71490>
- Ali, S., Abdul Rani, A. M., Mufti, R. A., Hastuty, S., Hussain, M., Shehzad, N. et al. (2019). An Efficient Approach for Nitrogen Diffusion and Surface Nitriding of Boron-Titanium Modified Stainless Steel Alloy for Biomedical Applications. *Metals*, 9 (7), 755. <https://doi.org/10.3390/met9070755>
- Salahinejad, E., Hadianfard, M. J., Macdonald, D. D., Sharifi-Asl, S., Mozafari, M., Walker, K. J. et al. (2013). In Vitro Electrochemical Corrosion and Cell Viability Studies on Nickel-Free Stainless Steel Orthopedic Implants. *PLoS ONE*, 8 (4), e61633. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0061633>
- Kartikasari, R., Subardi, A., Muhfidin, R., Aziz, I., Effendy, M., Triyono, T., Diharjo, K. (2023). Development of Fe-13.8Cr-8.9Mn alloy for steel biomaterials. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (12 (126)), 6–15. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.293009>
- Mahmoud, E. R. I., Shaharoun, A., Gepreel, M. A., Ebied, S. (2022). Phase Prediction, Microstructure and Mechanical Properties of Fe–Mn–Ni–Cr–Al–Si High Entropy Alloys. *Metals*, 12 (7), 1164. <https://doi.org/10.3390/met12071164>
- Tiwari, S., Mishra, S. B. (2018). Corrosion of Stainless Steel and its Prevention through Surface Modification for Biomedical Application: A Review. *Asian Journal of Engineering and Applied Technology*, 7 (2), 60–66. <https://doi.org/10.51983/ajeat-2018.7.2.954>
- Nagarajan, S., Mohana, M., Sudhagar, P., Raman, V., Nishimura, T., Kim, S. et al. (2012). Nanocomposite Coatings on Biomedical Grade Stainless Steel for Improved Corrosion Resistance and Biocompatibility. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 4 (10), 5134–5141. <https://doi.org/10.1021/am301559r>
- Talha, M., Behera, C. K., Sinha, O. P. (2013). A review on nickel-free nitrogen containing austenitic stainless steels for biomedical applications. *Materials Science and Engineering: C*, 33 (7), 3563–3575. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2013.06.002>
- Gregorutti, R. W., Grau, J. E., Sives, F., Elsner, C. I. (2015). Mechanical, electrochemical and magnetic behaviour of duplex stainless steel for biomedical applications. *Materials Science and Technology*, 31 (15), 1818–1824. <https://doi.org/10.1179/1743284715y.0000000017>
- Al-Zoubi, N., Li, X., Schönecker, S., Johansson, B., Vitos, L. (2014). Influence of manganese on the bulk properties of Fe-Cr-Mn alloys: a first-principles study. *Physica Scripta*, 89 (12), 125702. <https://doi.org/10.1088/0031-8949/89/12/125702>
- Ha, H.-Y., Jang, M.-H., Lee, T.-H. (2016). Influences of Mn in solid solution on the pitting corrosion behaviour of Fe-23 wt%Cr-based alloys. *Electrochimica Acta*, 191, 864–875. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2016.01.118>
- Yuan, Y., Wu, Y., Yang, Z., Liang, X., Lei, Z., Huang, H. et al. (2019). Formation, structure and properties of biocompatible TiZrHfNbTa high-entropy alloys. *Materials Research Letters*, 7 (6), 225–231. <https://doi.org/10.1080/21663831.2019.1584592>
- Allain, J. P., Echeverry-Rendón, M. (2018). Surface treatment of metallic biomaterials in contact with blood to enhance hemocompatibility. *Hemocompatibility of Biomaterials for Clinical Applications*, 279–326. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100497-5.00008-2>
- Rasouli, D., Kermanpur, A., Najafizadeh, A. (2019). Developing high-strength, ductile Ni-free Fe–Cr–Mn–C–N stainless steels by interstitial-alloying and thermomechanical processing. *Journal of Materials Research and Technology*, 8 (3), 2846–2853. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2018.12.026>
- Kartikasari, R., Effendy, M. (2021). Surface characterization of Fe–10Al–25Mn alloy for biomaterial applications. *Journal of Materials Research and Technology*, 15, 409–415. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.08.006>
- Eliaz, N. (2019). Corrosion of Metallic Biomaterials: A Review. *Materials*, 12 (3), 407. <https://doi.org/10.3390/ma12030407>
- Borgioli, F., Galvanetto, E., Bacci, T. (2016). Low temperature nitriding of AISI 300 and 200 series austenitic stainless steels. *Vacuum*, 127, 51–60. <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2016.02.009>
- Yang, K., Ren, Y. (2010). Nickel-free austenitic stainless steels for medical applications. *Science and Technology of Advanced Materials*, 11 (1), 014105. <https://doi.org/10.1088/1468-6996/11/1/014105>
- Muñoz, A., Costa, M. (2012). Elucidating the mechanisms of nickel compound uptake: A review of particulate and nano-nickel endocytosis and toxicity. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 260 (1), 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.taap.2011.12.014>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.310274

IDENTIFYING THE INFLUENCE OF POURING TEMPERATURE, Al-RHA COMPOSITION, AND PATTERN THICKNESS ON THE PROPERTIES OF Al-RHA COMPOSITES PRODUCED BY EVAPORATIVE CASTING (p. 39–49)

Rudi Siswanto

Lambung Mangkurat University, Kayu Tangi, Banjarmasin, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0976-0458>

Rachmat Subagyo

Lambung Mangkurat University, Kayu Tangi, Banjarmasin, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6129-7395>

Mastiadi Tamjidillah

Lambung Mangkurat University, Kayu Tangi, Banjarmasin, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7160-3568>

Mahmud

Lambung Mangkurat University, Kayu Tangi, Banjarmasin, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7794-2640>

Muhammad Soleh Indra Setiawan

Lambung Mangkurat University, Kayu Tangi, Banjarmasin, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-9384-3024>

This study investigated the effect of pouring temperature, Al-RHA composition and pattern thickness on fluidity length, surface roughness at Al-RHA composition (85:15, 80:20, 75:25) %, pouring temperature (650, 700, 750) °C, and pattern thickness (1, 2, 3, 4, 5, 6, 10) mm. The challenge in this study is to optimize the fluidity length and hardness but minimize the surface roughness and porosity of the composite. The results showed that raising the pouring temperature increased the fluidity length, surface roughness, hardness, and porosity. Higher pouring temperature caused an increase in fluidity length by 13.51–54.17 %

when the temperature raised from 650 °C to 750 °C. This was accompanied by an increase in hardness by 1.96–10.69 %. However, higher temperature also resulted in increased surface roughness by 3.9–7.92 % and increased porosity by 1.3–3 %. The composition ratio of Al-RHA plays an important role in determining the physical and mechanical properties of the composites. Increasing RHA content tends to increase the fluidity length but increases the surface roughness, hardness, and porosity. The higher RHA content increases the fluidity length by 2.44–11.9 % and the hardness also increases by 1.26–12.87 %. However, the higher RHA composition also increases the surface roughness by 1.2–30.95 % and the porosity increases by 2–2.7 %. The larger pattern thickness increases the fluidity length by 10.53–60.42 %. Controlling the RHA content and pouring temperature is very important to improve the physical-mechanical properties of Al-RHA composites. The results have potential applications in industries that require special composite materials such as automotive, aerospace, machinery and agricultural equipment.

Keywords: evaporative casting, Al-RHA composites, pouring temperature, physical-mechanical properties, pattern thickness.

References

- Chinnamahammad Bhasha, A., Balamurugan, K. (2019). Fabrication and property evaluation of Al 6061 + x% (RHA + TiC) hybrid metal matrix composite. *SN Applied Sciences*, 1 (9). <https://doi.org/10.1007/s42452-019-1016-0>
- Raghav, G. R., Krishnan, D. M., Nagarajan, K. J., Chandran, V., Suraj, R., Sujith, R. et al. (2022). Investigation of Mechanical, Wear, and Corrosion Properties of Al–BN–SiC–RHA Hybrid Composites Synthesized Through Powder Metallurgy Process. *METALLO-FIZIKA I NOVEISHIE TEKHNologii*, 44 (1), 111–126. <https://doi.org/10.15407/mfint.44.01.0111>
- Awad, A. Y., Ibrahim, M. N., Hussein, M. K. (2018). Effects of Rice Husk Ash–Magnesium Oxide Addition on Wear Behavior of Aluminum Alloy Matrix Hybrid Composites. *Tikrit Journal of Engineering Sciences*, 25 (4), 16–23. <https://doi.org/10.25130/tjes.25.4.04>
- Ahamed, A. A., Ahmed, R., Hossain, M. B., Billah, M. (2016). Fabrication and Characterization of Aluminium–Rice Husk Ash Composite Prepared by Stir Casting Method. *Rajshahi University Journal of Science and Engineering*, 44, 9–18. <https://doi.org/10.3329/rujse.v44i0.30361>
- Bahrami, A., Soltani, N., Pech-Canul, M. I., Soltani, S., González, L. A., Gutiérrez, C. A. et al. (2018). Bilayer graded Al/B4C/rice husk ash composite: Wettability behavior, thermo-mechanical, and electrical properties. *Journal of Composite Materials*, 52 (27), 3745–3758. <https://doi.org/10.1177/0021998318769993>
- Mohan, R. M., Kempaiah, U. N., Seenappa, Nagara, M. (2019). Processing and Mechanical Characterization of ADC12 alloy B4C RHA Hybrid Composites. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 9 (2), 2239–2244. <https://doi.org/10.35940/ijeat.b3221.129219>
- Dwivedi, S. P., Sharma, P., Saxena, A. (2020). Utilization of waste spent alumina catalyst and agro-waste rice husk ash as reinforcement materials with scrap aluminium alloy wheel matrix. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering*, 234 (6), 543–552. <https://doi.org/10.1177/0954408920930634>
- Joseph, O. O., Dirisu, J. O., Atiba, J., Ante, S., Ajayi, J. A. (2023). Mechanical, and corrosive properties of AA7075 aluminium reinforced with rice husk ash particulates. *Materials Research Express*, 10 (11), 116520. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ad0dd3>
- Jiang, W., Fan, Z., Liu, D., Liao, D., Dong, X., Zong, X. (2013). Correlation of microstructure with mechanical properties and fracture behavior of A356-T6 aluminum alloy fabricated by expendable pattern shell casting with vacuum and low-pressure, gravity casting and lost foam casting. *Materials Science and Engineering: A*, 560, 396–403. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2012.09.084>
- Kumar, S., Kumar, P., Shan, H. S. (2007). Effect of evaporative pattern casting process parameters on the surface roughness of Al–7% Si alloy castings. *Journal of Materials Processing Technology*, 182 (1-3), 615–623. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2006.09.005>
- Haddadi, E., Mehravar, E., Abbasi, F., Jalili, K. (2011). Expandable styrene/methyl methacrylate copolymer: Synthesis and determination of VOCs by combined thermogravimetry/differential thermal analysis-gas chromatography/mass spectrometry. *Journal of Applied Polymer Science*, 124 (6), 4711–4720. <https://doi.org/10.1002/app.35513>
- Karimian, M., Ourdjini, A., Idris, M. H., Jafari, H. (2014). Effects of Casting Parameters on Shape Replication and Surface Roughness of LM6 Aluminium Alloy Cast Using Lost Foam Process. *Transactions of the Indian Institute of Metals*, 68 (2), 211–217. <https://doi.org/10.1007/s12666-014-0446-z>
- Timelli, G., Bonollo, F. (2007). Fluidity of aluminium die castings alloy. *International Journal of Cast Metals Research*, 20 (6), 304–311. <https://doi.org/10.1179/136404608x286110>
- Li, Z.-H., Yan, H., Hu, Z., Song, X.-C. (2014). Fluidity of ADC12 + xLa aluminum alloys. *Rare Metals*, 40 (5), 1191–1197. <https://doi.org/10.1007/s12598-014-0383-3>
- Zayad M. Sheggaf, Sharafaddeen S. Wanis Ehzazat, Almabrouk A. Dhaw Esdeira3 (2023). Fluidity of Aluminum Piston Alloy with Different Amount of Pouring Temperature. *مجلة جامعة بابل للعلوم والتقنية*, 8 (3), 31–36. <https://doi.org/10.58916/jhas.v8i3.111>
- Gupta, V., Singh, B., Mishra, R. (2021). Microstructural and mechanical characterization of novel AA7075 composites reinforced with rice husk ash and carbonized eggshells. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications*, 235 (12), 2666–2680. <https://doi.org/10.1177/14644207211031265>
- Haque, S., Ansari, A. H., Bharti, P. K. (2016). Experimental Evaluation of Process Parameters Effect on Mechanical and Machining Properties of Al6061–Cu–SiCp-Reinforced Metal Matrix Composite. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 41 (11), 4303–4311. <https://doi.org/10.1007/s13369-016-2094-6>
- Divandari, M., Jamali, V., Shabestari, S. G. (2010). Effect of strips size and coating thickness on fluidity of A356 aluminium alloy in lost foam casting process. *International Journal of Cast Metals Research*, 23 (1), 23–29. <https://doi.org/10.1179/174313309x449291>
- Bang, H.-S., Kwon, H.-I., Chung, S.-B., Kim, D.-U., Kim, M.-S. (2022). Experimental Investigation and Numerical Simulation of the Fluidity of A356 Aluminum Alloy. *Metals*, 12 (11), 1986. <https://doi.org/10.3390/met12111986>
- Edalati, K., Akhlaghi, F., Nili-Ahmadabadi, M. (2005). Influence of SiC and FeSi addition on the characteristics of gray cast iron melts poured at different temperatures. *Journal of Materials Processing Technology*, 160 (2), 183–187. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2004.06.007>
- Behera, R., Chatterjee, D., Sutradhar, G. (2012). Effect of Reinforcement Particles on the Fluidity and Solidification Behavior of the Stir Cast Aluminum Alloy Metal Matrix Composites. *American Journal of Materials Science*, 2 (3), 53–61. <https://doi.org/10.5923/ajmaterials.20120203.04>
- Han, Y.-N., Chen, X., Zhong, Z.-J., Li, L., Zhou, D.-J. (2018). Effect of Eutectic Silicon Particle Morphology on the Fluidity of 4045 Aluminum Alloy Filler. *DEStech Transactions on Engi-*

- neering and Technology Research. <https://doi.org/10.12783/dtetr/ecame2017/18408>
23. Hussain, Z., Halmy, M. N., Almanar, I. P., Dhindaw, B. K. (2014). Friction Stir Processed of 6061-T6 Aluminum Alloy Reinforced with Silica from Rice Husk Ash. *Advanced Materials Research*, 1024, 227–230. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.1024.227>
 24. Abdulmalik, S. S., Ahmad, R. (2014). Fabrication of AA6061-0/RHA Surface Composite via Friction Stir Processing. *Applied Mechanics and Materials*, 660, 214–218. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.660.214>
 25. Durowoju, M. O., Agunsoye, J. O., Mudashiru, L. O., Yekinni, A. A., Bello, S. K., Rabi, T. O. (2017). Optimization of Stir Casting Process Parameters to Improve the Hardness Property of Al/RHA Matrix Composites. *European Journal of Engineering Research and Science*, 2 (11), 5. <https://doi.org/10.24018/ejers.2017.2.11.498>
 26. Riquelme, A., Escalera-Rodriguez, M. D., Rodrigo, P., Rams, J. (2016). Laser Cladding of In Situ Al-AlN Composite on Light Alloys Substrate. *Key Engineering Materials*, 724, 66–70. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.724.66>
 27. Chahuan, N., Singh, S., Thethi, H. P., Ch, S., A, S. J., Ahmed, R. (2024). Enhancing Aluminum-Based Composite Manufacturing: Harnessing Si3N4 Reinforcement via Stir Casting Technique. *E3S Web of Conferences*, 507, 01038. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202450701038>
 28. Mohd Joharudin, N. F., Abdul Latif, N., Mustapa, M. S., Badarulzaman, N. A., Mahmud, M. F. (2020). Effect of Burning Temperature on Rice Husk Silica as Reinforcement of Recycled Aluminium Chip AA7075. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 68 (1), 125–132. <https://doi.org/10.37934/arfmts.68.1.125132>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.313452

ВИЗНАЧЕННЯ УМОВ ПЕРЕРОБЛЕННЯ ЖАРОСТІЙКОГО СУПЕРСПЛАВУ, ЩО ВИКОРИСТОВУЄТЬСЯ В ЕЛЕМЕНТАХ ТУРБИНИ (с. 6–12)

В. А. Коток, Т. Є. Бутиріна, Ю. Є. Скар, О. В. Демчишина, А. О. Ляшенко, І. В. Суха

Жаростійкий суперсплав зі зниженої спеціальної техніки був використаний для подальшої перероблення з вилученням цінних металів, таких як реній, нікель, кобальт, вольфрам, молібден, ніобій, тантал та інші. Необхідність розроблення ефективного методу електрохімічного розчинення цього суперсплаву зумовлена дефіцитом і високою вартістю складових металів, особливо ренію. Електрохімічний метод розчинення є ефективним для швидкісного та повного розчинення твердих сплавів такого типу, що дозволяє оптимізувати процес вилучення цінних компонентів.

У процесі роботи було встановлено склад невідомого суперсплаву та визначено можливу марку цього сплаву, якою виявився ЖС32-ві. Також було здійснено порівняння анодної поведінки жаростійкого суперсплаву, що містить реній, у різних розчинах електроліту, включаючи метансульфоновою кислоту. Це порівняння дозволило з'ясувати, який електроліт найкраще підходить для розчинення суперсплаву та вилучення з нього цінних металів.

Результати показали, що розчини, які містять хлорид-іони (NaCl і HCl), є найбільш ефективними для електрохімічного розчинення суперсплаву. Ці результати пояснюються тим, що хлорид-іони сприяють видаленню пасивної оксидної плівки з поверхні металу. Таким чином, хлоридні розчини забезпечують більш ефективне розчинення суперсплаву у порівнянні з метансульфоновою кислотою та сірчаною кислотою.

Особливістю отриманих результатів є визначення хлоридних розчинів як найефективніших для розчинення суперсплаву, що дозволяє оптимізувати процес вилучення цінних металів. Застосування цих методів сприятиме збереженню ресурсів і зниженню виробничих витрат, що є важливим для промислових галузей, які використовують такі матеріали.

Ключові слова: елементи турбіни, електрохімічне розчинення, метаносульфоновою кислота, соляна кислота, хлорид натрію, сірчана кислота.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.313972

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ФАКТОРІВ ВІДМОВИ В РЕЗУЛЬТАТІ КОРОЗІЙНОЇ ЕРОЗІЇ КОЛІНА ПАРОВОЇ ТРУБИ ПІД ТИСКОМ НА ГЕОТЕРМАЛЬНІЙ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ (с. 13–24)

Iskandar Muda, Bambang Widianto

У цьому дослідженні представлені результати аналізу корозійно-ерозійного руйнування матеріалів колінчастих труб, які використовуються для надходження води під високим тиском з під землі. Матеріал колінчастої труби, що вийшов з ладу, знаходився над гирлом свердловини, утворюючи пряму лінію в поздовжньому напрямку з довжиною труби 6200 футів під поверхню землі. Робоча рідина в коліні складалася з 25 % пари і 75 % води, що текла в коліні з витратою середовища 180 тон на годину, тиском 22 бар і температурою 220 °C. Колінчасті труби були виготовлені з низьковуглецевої сталі за стандартом ASTM A234 із зовнішнім діаметром 304,8 мм і товщиною стінки 9,271 мм. Макроскопічні випробування, аналіз хімічного складу, металографічні випробування, випробування на твердість, рентгенівські дифракційні випробування, SEM та ЕДС – це деякі з типів випробувань, що проводяться. Результати дослідження показали, що колінчасті трубки зазнали процесу стоншення на внутрішній стінці зовнішньої сторони кривизни з шорсткою та хвилястою поверхнею або зовнішнім виглядом. Цей тип пошкодження відомий як ерозійно-корозійний. Рівень ерозійно-корозійного руйнування, яке виникає, значною мірою залежить від рН рідини, що протікає, досягаючи 2,67–2,91, це пов'язано з дуже високим рівнем Cl^- – 1290 частин на мільйон, тому вищою є швидкість ерозії-корозії, яка виникає. Ці матеріали є найпопулярнішими і широко використовуваними в нафтогазовому секторі. Однак у цієї труби є недоліки, оскільки вона схильна до ерозії та корозії. Тому дуже важливо вибрати правильний матеріал, а саме матеріал, стійкий до ерозії та корозії.

Ключові слова: корозійна ерозія, коліно, турбулентність, горбки, волокнисті тріщини, стоншення товщини.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.313449

ВИЯВЛЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ СТРУКТУРНО-ФАЗОВИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ ПРИ ПЕРЕРОБЦІ ОКСИДНИХ ЛЕГОВАНИХ ВІДХОДІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ВУГЛЕЦЕВОГО ВІДНОВНИКА (с. 25–30)

А. М. Поляков, В. О. Волох, А. М. Андреев, В. І. Ребенко, В. І. Курлов, М. М. Ямшинський, І. В. Лук'яненко, Д. В. Іванченко, Д. П. Журавель, І. В. Коваленко

Об'єктом дослідження є структурно-фазові перетворення при відновленні вуглецем окалини вольфрамової швидкоріжучої сталі щодо отримання ресурсозберігаючої легуючої добавки. Проблема полягає у втратах коштовних елементів при отриманні та використанні легуючого матеріалу із техногенної сировини. Вирішення проблеми пов'язане із визначенням технологічних параметрів щодо забезпечення зменшення втрат відповідних елементів. В результаті підвищення ступеня відновлення окалини з 33 % до 72 % та 85 % виявлено підсилення прояву твердого розчину вуглецю та легуючих елементів в α -Fe відносно до FeWO_4 , FeO та Fe_3O_4 . Також мали прояв Fe_3C , WC, W_2C , FeW_3C , $\text{Fe}_3\text{W}_3\text{C}$, $\text{Fe}_6\text{W}_6\text{C}$, VC, V_2C , Cr_3C_2 , Cr_7C_3 та Cr_{23}C_6 . Разом з цим виявлено частки округлої та багатогранної форми з різним хімічним складом та утворення губчастої мікроструктури. Встановлено, що найбільш прийнятним ступенем

відновлення є 85 %. Але досягнення ступеню відновлення 72 % також є достатнім. Це пояснюється тим, що залишковий вуглець в карбідах забезпечує підвищену відновну спроможність, яка реалізується при довідновленні оксидів в рідкому металі під час легування. Губчаста мікроструктура обумовлює більш швидке розчинення на відміну від стандартних феросплавів, що забезпечує зменшення часу плавки при скороченні витрачених ресурсів. В отриманому легуючому матеріалі не виявлено фаз, що мають підвищену схильність до сублімації. Тобто не потрібні додаткові умови, що стримують втрати легуючих елементів при випаровуванні з газоподібною фазою, що забезпечує підвищення ступеня вилучення відповідних елементів. Властивості отриманого легуючого матеріалу дають можливість використання в металургійному виробництві при виплавці в електродуговій печі марок легованої сталі, склад яких не має суворих обмежень за вмістом вуглецю.

Ключові слова: оксидні техногенні відходи, швидкоріжуча сталь, окалина, відновлення вуглецем, структурно-фазові перетворення.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.312442

РОЗРОБКА Fe-Cr-C СПЛАВІВ З ВИСОКИМ ВМІСТОМ Mn ДЛЯ КІСТКОВИХ ІМПЛАНТІВ (с. 31–38)

Ratna Kartikasari, Sugiarto Kardiman, Rivan Muhfidin, Ihwanul Aziz, Triyono

Об'єктом дослідження є поєднання властивостей Mn і переваг Fe-Cr-C для покращення сумісних характеристик біоматеріалу. Досліджувалися три сплави Fe-Cr-C зі складом 12 мас. % Mn, 16 мас. % Mn і 20 мас. % Mn. Мікроструктурний аналіз проводили за допомогою скануючого електронного мікроскопа (СЕМ), а для оцінки твердості використовували набір для визначення твердості за Віккерсом. Метод «штифт-на-диску» використовувався для випробування на знос сухого ковзання, а випробування на корозію проводилося за допомогою методу триелектродної поляризації комірки. Твердість сплаву Fe-Cr-C зросла на 28,7 % із збільшенням вмісту Mn від 12 мас. % (231,8 VHN) до 20 мас. % (298,4 VHN). Значення міцності на розрив зросло на 30,3 % при збільшенні вмісту Mn з 12 мас. % (522,69 МПа) до 20 мас. % (680,89 МПа), а величина деформації зменшилася на 30,9 %. Однак ударна в'язкість дещо знизилася, з 0,213 Дж/мм² при 12 мас. % Mn до 0,169 Дж/мм² при 20 мас. % Mn. Результати зносу для Fe-Cr-C 20 мас. % Mn 0,000156 мм³/кг показують зниження більш ніж на 15 мас. % у порівнянні з Fe-Cr-C 12 мас. % Mn через збільшення твердої інтерметалічної області. Крім того, стійкість до корозії значно покращилася, при цьому швидкість корозії зменшилася з 0,005814 мм/рік при 12 мас. % Mn до 0,001780 мм/рік при 20 мас. % Mn, демонструючи, що вищий вміст Mn зменшує деградацію матеріалу в корозійних середовищах. Виходячи з експериментальних результатів, сплав Fe-Cr-C 20 мас. % Mn має найвищу механічну та корозійну стійкість з трьох типів сплавів. Fe-Cr-C зі сплавами з високим вмістом Mn є перспективними кандидатами для застосування в якості біоматеріалів для кісткових імплантів за рахунок оптимізації вмісту Mn і стійкості до корозії.

Ключові слова: Fe-Cr-C сплав, біоматеріали, механічні властивості, корозійна стійкість, вміст Mn, ортопедичні імпланти.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.310274

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ТЕМПЕРАТУРИ ЗАЛИВКИ, СКЛАДУ Al-ЗРЛ І ТОВЩИНИ МОДЕЛІ НА ВЛАСТИВОСТІ Al-ЗРЛ-КОМПОЗИТІВ, ОТРИМАНИХ МЕТОДОМ ЛИТТЯ ПО ГАЗИФІКОВАНИХ МОДЕЛЯХ (с. 39–49)

Rudi Siswanto, Rachmat Subagyo, Mastiadi Tamjidillah, Mahmud, Muhammad Soleh Indra Setiawan

У даному дослідженні вивчався вплив температури заливки, складу Al-ЗРЛ (зола рисового лушпиння) і товщини моделі на довжину текучості та шорсткість поверхні при використанні складу Al-ЗРЛ (85:15, 80:20, 75:25) %, температури заливки (650, 700, 750) °C і товщини моделі (1, 2, 3, 4, 5, 6, 10) мм. Задача дослідження полягає в оптимізації довжини текучості і твердості, при зведенні до мінімуму шорсткості поверхні та пористості композиту. Результати показали, що підвищення температури заливки призводить до збільшення довжини текучості, шорсткості поверхні, твердості і пористості. Підвищення температури заливки призвело до збільшення довжини текучості на 13,51–54,17 % при підвищенні температури з 650 °C до 750 °C, що супроводжувалося підвищенням твердості на 1,96–10,69 %. Однак підвищення температури також призвело до збільшення шорсткості поверхні на 3,9–7,92 % та збільшення пористості на 1,3–3 %. Співвідношення складу Al-ЗРЛ відіграє важливу роль у визначенні фізико-механічних властивостей композитів. Підвищення вмісту ЗРЛ призводить до збільшення довжини текучості, але збільшує шорсткість поверхні, твердість і пористість. Більш високий вміст ЗРЛ збільшує довжину текучості на 2,44–11,9 %, а твердість також збільшується на 1,26–12,87 %. Однак більш високий вміст ЗРЛ також збільшує шорсткість поверхні на 1,2–30,95 %, а пористість збільшується на 2–2,7 %. Збільшення товщини моделі збільшує довжину текучості на 10,53–60,42 %. Контроль вмісту ЗРЛ і температури заливки має важливе значення для поліпшення фізико-механічних властивостей Al-ЗРЛ-композитів. Отримані результати можуть бути використані в галузях, що потребують спеціальних композитних матеріалів, таких як автомобілебудування, аерокосмічна промисловість, машинобудування та сільгосптехніка.

Ключові слова: лиття по газифікованих моделях, Al-ЗРЛ-композити, температура заливки, фізико-механічні властивості, товщина моделі.