

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.238634

COMPARING FEATURES IN METALLURGICAL INTERACTION WHEN APPLYING DIFFERENT TECHNIQUES OF ARC AND PLASMA SURFACING OF STEEL WIRE ON TITANIUM (p. 6–17)

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

Guangdong Welding Institute (E. O. Paton Chinese-Ukrainian Institute of Welding), Tian He, Guangzhou, China
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>

Oleg Ganushchak

Guangdong Welding Institute (E. O. Paton Chinese-Ukrainian Institute of Welding), Tian He, Guangzhou, China
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4392-6682>

Sviatoslav Peleshenko

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

Oksana Konoreva

E. O. Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1597-6968>

Oleksii Demianov

E. O. Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7184-3839>

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>

Nataliia Fialko

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

This paper reports a study into the regularities of interphase interaction, features in the formation of intermetallic phases (IMPs), and defects when surfacing steel on titanium in four ways: P-MAG, CMT, plasma surfacing by an indirect arc with conductive wire, and PAW. A general tendency has been established in the IMP occurrence when surfacing steel on titanium by all the considered methods. It was determined that the plasma surfacing technique involving an indirect arc with conductive wire is less critical as regards the IMP formation. That makes it possible to obtain an intermetallic layer of the minimum thickness (25...54 μm) in combination with the best quality in the formation of surfaced metal beads. Further minimization of the size of this layer is complicated by a critical decrease in the heat input into the metal, which gives rise to the capability of the surfaced metal to be collected in separate droplets. The formation

of TiFe_2 , TiFe , and the α -Fe phase enriched with titanium in different percentage compositions has been observed in the transition zone of steel surfacing on titanium under different techniques and modes of surfacing. The study has shown the possibility of formation, in addition to the phases of TiFe_2 and TiFe , the Ti_2Fe phase at low heat input. The technique of plasma surfacing by an indirect arc with conductive wire minimizes the thermal effect on the base metal. When it is used at the border of the transition of the layer of steel surfaced on titanium, the phase composition and structure of the layers in some cases approach the composition and structure of the transition zone of the original bimetallic sheet “titanium-steel” manufactured by rolling. A layer up to 5 μm thick is formed from the β phase with an iron concentration of 44.65 % by weight and an intermetallic layer up to 0.2...0.4 μm thick, close in composition to the TiFe phase. The next step in minimizing the IMP formation might involve the introduction of a barrier layer between titanium and steel.

Keywords: steel, titanium, intermetallic phases, formation of beads, fusion zone.

References

1. Nakamura, S., Homma, K. (2000). Durability of Titanium-Clad Steel Plates used as an Anti-Corrosion System. *Structural Engineering International*, 10 (4), 262–265. doi: <https://doi.org/10.2749/101686600780481338>
2. Su, H., Luo, X., Chai, F., Shen, J., Sun, X., Lu, F. (2015). Manufacturing Technology and Application Trends of Titanium Clad Steel Plates. *Journal of Iron and Steel Research International*, 22 (11), 977–982. doi: [https://doi.org/10.1016/s1006-706x\(15\)30099-6](https://doi.org/10.1016/s1006-706x(15)30099-6)
3. Abdul Karim, M., Park, Y.-D. (2020). A Review on Welding of Dissimilar Metals in Car Body Manufacturing. *Journal of Welding and Joining*, 38 (1), 8–23. doi: <https://doi.org/10.5781/jwj.2020.38.1.1>
4. Tomashchuk, I., Sallamand, P. (2018). Metallurgical Strategies for the Joining of Titanium Alloys with Steels. *Advanced Engineering Materials*, 20 (6), 1700764. doi: <https://doi.org/10.1002/adem.201700764>
5. Rabkin, D. M., Ryabov, V. R., Gurevich, S. M. (1975). *Svarka raznorodnyh metallov*. Moscow: Tekhnika, 208.
6. Diagramma sostoyaniya sistemy zhelezo – titan (Fe-Ti). Available at: <https://markmet.ru/diagrammy-splavov/diagramma-sostoyaniya-sistemy-zhelezo-%E2%80%93-titan-fe-ti>
7. Murray, J. L. (1981). The Fe–Ti (Iron-Titanium) system. *Bulletin of Alloy Phase Diagrams*, 2 (3), 320–334. doi: <https://doi.org/10.1007/bf02868286>
8. Bo, H., Wang, J., Duarte, L., Leinenbach, C., Liu, L., Liu, H., Jin, Z. (2012). Thermodynamic re-assessment of Fe–Ti binary system. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 22 (9), 2204–2211. doi: [https://doi.org/10.1016/s1003-6326\(11\)61450-7](https://doi.org/10.1016/s1003-6326(11)61450-7)
9. Mannucci, A., Tomashchuk, I., Mathieu, A., Bolot, R., Cicala, E., Lafaye, S., Roudeix, C. (2020). Use of pure vanadium and niobium/copper inserts for laser welding of titanium to stainless steel. *Journal of Advanced Joining Processes*, 1, 100022. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jajp.2020.100022>
10. Pardal, G., Ganguly, S., Williams, S., Vaja, J. (2016). Dissimilar metal joining of stainless steel and titanium using copper as transition metal. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 86 (5-8), 1139–1150. doi: <https://doi.org/10.1007/s00170-015-8110-2>
11. Kirik, I. (2016). Weldability of $\text{Ti}_6\text{Al}_4\text{V}$ to AISI 2205 with a nickel interlayer using friction welding. *Materiali in Tehnologije*, 50 (3), 353–356. doi: <https://doi.org/10.17222/mit.2015.039>

12. Peleshenko, S., Korzhyk, V., Voitenko, O., Khaskin, V., Tkachuk, V. (2017). Analysis of the current state of additive welding technologies for manufacturing volume metallic products (review). *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (1 (87)), 42–52. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.99666>
13. Arora, H., Singh, R., Brar, G. S. (2019). Thermal and structural modelling of arc welding processes: A literature review. *Measurement and Control*, 52 (7-8), 955–969. doi: <https://doi.org/10.1177/0020294019857747>
14. Selvi, S., Vishvakshnan, A., Rajasekar, E. (2018). Cold metal transfer (CMT) technology - An overview. *Defence Technology*, 14 (1), 28–44. doi: <https://doi.org/10.1016/j.dt.2017.08.002>
15. Zhang, Q. L., Fan, C. L., Lin, S. B., Yang, C. L. (2014). Novel soft variable polarity plasma arc and its influence on keyhole in horizontal welding of aluminium alloys. *Science and Technology of Welding and Joining*, 19 (6), 493–499. doi: <https://doi.org/10.1179/1362171814y.0000000215>
16. Sydorets, V., Korzhyk, V., Khaskin, V., Babych, O., Berdnikova, O. (2017). On the Thermal and Electrical Characteristics of the Hybrid Plasma-MIG Welding Process. *Materials Science Forum*, 906, 63–71. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.906.63>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.233349

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF HOT ROLLED PLATE STEEL TREATMENT USING TEMPER AND QUENCH-TEMPER METHOD ON VICKERS HARDNESS NUMBER ENHANCEMENT (p. 18–24)

Achmad Taufik

Brawijaya University Malang, Kota Malang, Jawa Timur, Indonesia
 Malang National Institute of Technology, Kota Malang, Indonesia,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6338-1360>

Pratikto

Brawijaya University Malang, Kota Malang, Jawa Timur, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3286-0705>

Agus Suprpto

Brawijaya University Malang, Kota Malang, Jawa Timur, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4172-4163>

Achmad As'ad Sonief

Brawijaya University Malang, Kota Malang, Jawa Timur, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6044-6029>

This paper wants to know the effect of bending radius on the distribution of hardness, grain distribution and microstructure on the surface area of tensile stress and compressive stress after bending, quenching and tempering. Material testing helps determine and analyze material quality. The research was conducted on the bending of Hot Rolled Plate Steel material with a radius of 50 mm, 55 mm, 60 mm, 65 mm and 70 mm with a measurement distance of 1 mm, 2 mm and 3 mm, the highest value was obtained at a radius of 55 mm with a measurement distance of 1 mm. After getting the quench-temper treatment with a holding time of 30 minutes, the value of 498 HV was obtained at a radius of 70 mm with a measurement distance of 2 mm. Hardness test was performed using the austenite temperature of 900 °C, microstructure test results obtained finer grains in the compression area $r=2.173 \mu\text{m}$ and in the tensile area $r=2.34 \mu\text{m}$. This observation aims to determine the microstructure of the material undergoing a heat treatment process at a temperature of 900 °C with a holding time of 30 minutes using water cooling media. The results of the observation of the microstructure of the test specimens before the quench-temper process showed that the structure of ferrite was more abundant than perlite, but after the quench-tempering process the

results showed that there was more perlite than ferrite due to the presence of austenite. The treatment on the transformation of the Ar3 line causes the hardness to change the shape of the martensite microstructure into steel while the thickness of the carburizing layer increases with the increase in the carbonization temperature on the surface of the quenched specimen, resulting in the formation of martensite and residual austenite causing the coating to become hard.

Keywords: martensite, ferrite, pearlite, bending, quenching, tempering, microstructure.

References

1. Karagöz, Ş., Atapek, Ş. H., Yilmaz, A. (2010). Microstructural and Fractographical Studies on Quenched and Tempered Armor Steels. *Materials Testing*, 52 (5), 316–322. doi: <https://doi.org/10.3139/120.110134>
2. Konca, E. (2020). A Comparison of the Ballistic Performances of Various Microstructures in MIL-A-12560 Armor Steel. *Metals*, 10 (4), 446. doi: <https://doi.org/10.3390/met10040446>
3. Long, S., Liang, Y., Jiang, Y., Liang, Y., Yang, M., Yi, Y. (2016). Effect of quenching temperature on martensite multi-level microstructures and properties of strength and toughness in 20CrNi2Mo steel. *Materials Science and Engineering: A*, 676, 38–47. doi: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2016.08.065>
4. Peet, M. (2015). Prediction of martensite start temperature. *Materials Science and Technology*, 31 (11), 1370–1375. doi: <https://doi.org/10.1179/1743284714y.0000000714>
5. Kılıç, N., Ekici, B. (2013). Ballistic resistance of high hardness armor steels against 7.62 mm armor piercing ammunition. *Materials & Design*, 44, 35–48. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2012.07.045>
6. Atapek, S. (2013). Development of a New Armor Steel and its Ballistic Performance. *Defence Science Journal*, 63 (3), 271–277. doi: <https://doi.org/10.14429/dsj.63.1341>
7. Sanusi, O., Akindapo, J. (2015). Ballistic Performance of a Quenched and Tempered Steel Against 7.62 mm Calibre Projectile. *Nigerian Journal of Technology*, 34 (2), 309. doi: <https://doi.org/10.4314/njt.v34i2.15>
8. Shuai, X., Mao, H., Kong, Y., Du, Y. (2017). Phase field crystal simulation of the structure evolution between the hexagonal and square phases at elevated pressures. *Journal of Mining and Metallurgy, Section B: Metallurgy*, 53 (3), 271–278. doi: <https://doi.org/10.2298/jmmb170527027s>
9. Magudeeswaran, G., Balasubramanian, V., Sathyanarayanan, S., Reddy, G. M., Moitra, A., Venugopal, S., Sasikala, G. (2010). Dynamic fracture toughness of armour grade quenched and tempered steel joints fabricated using low hydrogen ferritic fillers. *Journal of Iron and Steel Research International*, 17 (5), 51–56. doi: [https://doi.org/10.1016/s1006-706x\(10\)60099-4](https://doi.org/10.1016/s1006-706x(10)60099-4)
10. Singh, B. B., Kumar, K. S., Madhu, V., Kumar, R. A. (2017). Effect of Hot Rolling on Mechanical Properties and Ballistic Performance of High Nitrogen Steel. *Procedia Engineering*, 173, 926–933. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.12.144>
11. Herbirowo, S., Adjiantoro, B., Romijarso, T. B., Pramono, A. W. (2018). The effect of tempering treatment on mechanical properties and microstructure for armored lateritic steel. *AIP Conference Proceedings*, 1964, 020043. doi: <https://doi.org/10.1063/1.5038325>
12. Kim, H., Inoue, J., Okada, M., Nagata, K. (2017). Prediction of Ac3 and Martensite Start Temperatures by a Data-driven Model Selection Approach. *ISIJ International*, 57 (12), 2229–2236. doi: <https://doi.org/10.2355/isijinternational.isijint-2017-212>
13. Tukur, S. A., Usman, M. M., Muhammad, I., Sulaiman, N. A. (2014). Effect of Tempering Temperature on Mechanical Properties of Medium Carbon Steel. *International Journal of Engineering*

- Trends and Technology, 9 (15), 798–800. doi: <https://doi.org/10.14445/22315381/ijett-v9p350>
14. Mondal, C., Mishra, B., Jena, P. K., Siva Kumar, K., Bhat, T. B. (2011). Effect of heat treatment on the behavior of an AA7055 aluminum alloy during ballistic impact. *International Journal of Impact Engineering*, 38 (8-9), 745–754. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2011.03.001>
 15. Banerjee, M. K. (2017). 2.1 Fundamentals of Heat Treating Metals and Alloys. *Comprehensive Materials Finishing*, 1–49. doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-803581-8.09185-2>
 16. Hasan, M. F. (2016). Analysis of Mechanical Behavior and Microstructural Characteristics Change of ASTM A-36 Steel Applying Various Heat Treatment. *Journal of Material Science & Engineering*, 05 (02). doi: <https://doi.org/10.4172/2169-0022.1000227>
 17. Dlouhy, J., Podany, P., Džugan, J. (2020). Influence of Martensite Deformation on Cu Precipitation Strengthening. *Metals*, 10 (2), 282. doi: <https://doi.org/10.3390/met10020282>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.234174

THE EFFECT OF COLD ROLLING AND HIGH-TEMPERATURE GAS NITRIDING ON AUSTENITE PHASE FORMATION IN AISI 430 SS (p. 25–32)

Ika Kartika

Indonesian Institute of Sciences (LIPI), Tangerang Selatan, Banten, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9105-4033>

Kevin Kurnia

Sultan Ageng Tirtayasa University, Cilegon, Banten, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9334-618X>

Galih Senopati

Indonesian Institute of Sciences (LIPI), Tangerang Selatan, Banten, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8202-5778>

Joko Triwardono

Indonesian Institute of Sciences (LIPI), Tangerang Selatan, Banten, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8431-8494>

Bambang Hermanto

Indonesian Institute of Sciences (LIPI), Tangerang Selatan, Banten, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6284-2332>

Fendy Rokhmanto

Indonesian Institute of Sciences (LIPI), Tangerang Selatan, Banten, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4565-5804>

Made Subekti Dwijaya

Indonesian Institute of Sciences (LIPI), Tangerang Selatan, Banten, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0195-7157>

Alfirano

Sultan Ageng Tirtayasa University, Cilegon, Banten, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0275-7643>

Austenitic stainless steel is the most commonly used material in the production of orthopedic prostheses. In this study, AISI 430 SS (0.12 wt. % C; 1 wt. % Si; 1 wt. % Mn; 18 wt. % Cr; 0.04 wt. % P and 0.03 wt. % S) will be modified by creating austenite and removing its ferromagnetic properties via the high-temperature gas nitriding process. Cold rolling with various percentage reduction (30, 50, and 70 %) was followed by gas nitriding at a temperature of 1200 °C with

holding times of 5, 7, and 9 hours, then quenching in water was carried out on as-annealed AISI 430 SS. The formation of the austenite phase was examined by XRD (x-ray diffraction). The microstructure and element dispersion were observed using SEM-EDS (scanning electron microscope-energy dispersive spectrometry), whereas the mechanical properties after gas nitriding and water quenching were determined by Vickers microhardness testing. At all stages of the gas nitriding process, the FCC iron indicated the austenite phase was visible on the alloy's surface, although the ferrite phase is still present. The intensity of austenite formation is produced by cold rolling 70 % reduction with a 5-hour gas nitriding time. Furthermore, the nitrogen layer was formed with a maximum thickness layer of approximately 3.14 μm after a 50 % reduction in cold rolling and 9 hours of gas nitriding process followed by water quenching. The hardness reached 600 HVN in this condition. This is due to the distribution of carbon that is concentrated on the surface. As the percent reduction in the cold rolling process increases, the strength of AISI 430 SS after gas nitriding can increase, causing an increase in the number of dislocations. The highest tensile strength and hardness of AISI 430 SS of 669 MPa and 271.83 HVN were obtained with a reduction of 70 %.

Keywords: AISI 430 SS, austenite, high-temperature gas nitriding, cold rolling, nitrogen layer.

References

1. Sumita, M., Hanawa, T., Teoh, S. H. (2004). Development of nitrogen-containing nickel-free austenitic stainless steels for metallic biomaterials – review. *Materials Science and Engineering: C*, 24 (6-8), 753–760. doi: <https://doi.org/10.1016/j.msec.2004.08.030>
2. Sutowo, C., Senopati, G., W Pramono, A., Supriadi, S., Suharno, B. (2020). Microstructures, mechanical properties, and corrosion behavior of novel multi-component Ti-6Mo-6Nb-xSn-xMn alloys for biomedical applications. *AIMS Materials Science*, 7 (2), 192–202. doi: <https://doi.org/10.3934/mat.2020.2.192>
3. Black, J., Hastings, G. (1998). *Handbook of Biomaterial Properties*. Springer, 590. doi: <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-5801-9>
4. Niinomi, M., Nakai, M., Hieda, J. (2012). Development of new metallic alloys for biomedical applications. *Acta Biomaterialia*, 8 (11), 3888–3903. doi: <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2012.06.037>
5. Yang, K., Ren, Y. (2010). Nickel-free austenitic stainless steels for medical applications. *Science and Technology of Advanced Materials*, 11 (1), 014105. doi: <https://doi.org/10.1088/1468-6996/11/1/014105>
6. Berton, E. M., Neves, J. C. K., Mafra, M., Borges, P. C. (2017). Nitrogen enrichment of AISI 409 stainless steel by solution heat treatment after plasma nitriding. *Metallic Materials*, 55 (05), 317–321. doi: https://doi.org/10.4149/km_2017_5_317
7. Li, J., Yang, Y., Ren, Y., Dong, J., Yang, K. (2018). Effect of cold deformation on corrosion fatigue behavior of nickel-free high nitrogen austenitic stainless steel for coronary stent application. *Journal of Materials Science & Technology*, 34 (4), 660–665. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmst.2017.10.002>
8. Mola, J., Ullrich, C., Kuang, B., Rahimi, R., Huang, Q., Rafaja, D., Ritzenhoff, R. (2017). Austenitic Nickel- and Manganese-Free Fe-15Cr-1Mo-0.4N-0.3C Steel: Tensile Behavior and Deformation-Induced Processes between 298 K and 503 K (25 °C and 230 °C). *Metallurgical and Materials Transactions A*, 48 (3), 1033–1052. doi: <https://doi.org/10.1007/s11661-017-3960-x>
9. Aydin, H., Bayram, A., Topçu, Ş. (2013). Friction Characteristics of Nitrided Layers on AISI 430 Ferritic Stainless Steel Obtained by Various Nitriding Processes. *Materials Science*, 19 (1). doi: <https://doi.org/10.5755/j01.ms.19.1.3819>
10. Patnaik, L., Ranjan Maity, S., Kumar, S. (2020). Status of nickel free stainless steel in biomedical field: A review of last 10 years and what

- else can be done. *Materials Today: Proceedings*, 26, 638–643. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.12.205>
11. 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. doi: <https://doi.org/10.1016/j.msec.2013.06.002>
 12. Lo, K. H., Shek, C. H., Lai, J. K. L. (2009). Recent developments in stainless steels. *Materials Science and Engineering: R: Reports*, 65 (4-6), 39–104. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mser.2009.03.001>
 13. Feng, H., Jiang, Z., Li, H., Lu, P., Zhang, S., Zhu, H. et. al. (2018). Influence of nitrogen on corrosion behaviour of high nitrogen martensitic stainless steels manufactured by pressurized metallurgy. *Corrosion Science*, 144, 288–300. doi: <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2018.09.002>
 14. Kuroda, D., Hanawa, T., Hibar, T., Kuroda, S., Kobayashi, M., Kobayashi, T. (2003). New Manufacturing Process of Nickel-Free Austenitic Stainless Steel with Nitrogen Absorption Treatment. *MATERIALS TRANSACTIONS*, 44 (3), 414–420. doi: <https://doi.org/10.2320/matertrans.44.414>
 15. Zhang, S., Yu, Y., Wang, S., Li, H. (2017). Effects of cerium addition on solidification structure and mechanical properties of 434 ferritic stainless steel. *Journal of Rare Earths*, 35 (5), 518–524. doi: [https://doi.org/10.1016/s1002-0721\(17\)60942-6](https://doi.org/10.1016/s1002-0721(17)60942-6)
 16. Nakamura, N., Takaki, S. (1996). Structural Control of Stainless Steel by Nitrogen Absorption in Solid State. *ISIJ International*, 36 (7), 922–926. doi: <https://doi.org/10.2355/isijinternational.36.922>
 17. Saller, G., Spiradek-Hahn, K., Scheu, C., Clemens, H. (2006). Microstructural evolution of Cr–Mn–N austenitic steels during cold work hardening. *Materials Science and Engineering: A*, 427 (1-2), 246–254. doi: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2006.04.020>
 18. Kuroda, D., Hanawa, T., Hibar, T., Kuroda, S., Kobayashi, M. (2003). Mechanical Properties of Thin Wires of Nickel-Free Austenitic Stainless Steel with Nitrogen Absorption Treatment. *MATERIALS TRANSACTIONS*, 44 (8), 1577–1582. doi: <https://doi.org/10.2320/matertrans.44.1577>
 19. Kuroda, D., Takemoto, S., Hanawa, T., Asami, K. (2003). Characterization of the Surface Oxide Film on an Fe–Cr–N System Alloy in Environments Simulating the Human Body. *MATERIALS TRANSACTIONS*, 44 (12), 2664–2670. doi: <https://doi.org/10.2320/matertrans.44.2664>
 20. Ritzenhoff, R., Hah, A. (2012). Corrosion resistance of High nitrogen steels. *Corrosion Resistance*. doi: <https://doi.org/10.5772/33037>
 21. Loder, D., Michelic, S. K., Bernhard, C. (2017). Acicular Ferrite Formation and Its Influencing Factors-A Review. *Journal of Materials Science Research*, 6 (1), 24. doi: <https://doi.org/10.5539/jmsr.v6n1p24>
 22. Garcia-Gonzalez, J. E. (2005). Fundamental Study on the Austenite Formation and Decomposition of low-Si, Al added Nb–Mo TRIP steels. University of Pittsburgh, 190. Available at: <http://d-scholarship.pitt.edu/6715/>
 23. Hedayati, A., Najafzadeh, A., Kermanpur, A., Forouzan, F. (2010). The effect of cold rolling regime on microstructure and mechanical properties of AISI 304L stainless steel. *Journal of Materials Processing Technology*, 210 (8), 1017–1022. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2010.02.010>
 24. Hume-Rothery, W. (1966). The structures of Alloys of Iron: An Elementary Introduction. Pergamon. doi: <https://doi.org/10.1016/c2013-0-01893-2>
 25. Bei, H., Yamamoto, Y., Brady, M. P., Santella, M. L. (2010). Aging effects on the mechanical properties of alumina-forming austenitic stainless steels. *Materials Science and Engineering: A*, 527 (7-8), 2079–2086. doi: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2009.11.052>
 26. Huang, J., Ye, X., Xu, Z. (2012). Effect of Cold Rolling on Microstructure and Mechanical Properties of AISI 301LN Metastable Austenitic Stainless Steels. *Journal of Iron and Steel Research International*, 19 (10), 59–63. doi: [https://doi.org/10.1016/s1006-706x\(12\)60153-8](https://doi.org/10.1016/s1006-706x(12)60153-8)

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.238763

IDENTIFICATION OF THE FEATURES OF STRUCTURAL-PHASE TRANSFORMATIONS IN THE PROCESSING OF WASTE FROM THE PRODUCTION OF HIGH-ALLOY STEELS (p. 33–38)

Viacheslav Borysov

Donbass Institute of Technique and Management Private Higher Educational Establishment «Academician Yuriy Bugay International Scientific and Technical University», Kramatorsk, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3117-2118>

Tetiana Solomko

Donbass Institute of Technique and Management Private Higher Educational Establishment «Academician Yuriy Bugay International Scientific and Technical University», Kramatorsk, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3029-7920>

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>

Bohdan Tsymbal

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2317-3428>

Andrey Andreev

Zaporizhzhia National University, Zaporizhzhia, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5390-6813>

Viacheslav Bratishko

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,
Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8003-5016>

Tamara Bilko

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,
Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3164-3298>

Victor Rebenko

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,
Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3370-3760>

Tetiana Chorna

Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University,
Melitopol, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1439-9636>

This paper reports a study into the peculiarities of the structural-phase composition of the alloy obtained by using anthropogenic waste from the production of high-alloy steels involving reduction melting. That is necessary for determining the technological parameters that could help decrease the loss of alloying elements in the process of obtaining and using a doped alloy. This study has shown that at an O:C ratio in the charge of 1.84, the alloy consisted mainly of the solid solution of carbon and alloying elements in α -Fe. The manifestation of Fe₃C carbide with alloying elements as substitution atoms was of relatively weak intensity. At the O:C ratios in the charge of 1.42 and 1.17, there was an increase in the intensity

of the Fe₃C carbide manifestation. At the same time, the emergence of the carbide compounds W₂C·Mo₂C and WC was identified. Several phases with different content of alloying elements were present in the microstructure images. Cr content in the examined areas changed in the range of 0.64–33.86 % by weight; W content reached 41.58 % by weight; Mo – 19.53 % by weight; V – 18.55 % by weight; Co – 3.95 % by weight. The carbon content was in the range of 0.28–2.43 % by weight. Analysis of the study results reveals that the most favorable ratio of O:C in the charge was 1.42. At the same time, the phase composition was dominated by a solid solution of the alloying elements and carbon in α-Fe. The share of the residual carbon concentrated in the carbide component was in the range of 0.52–2.11 % by weight, thereby ensuring the required reduction capability of the alloy when used. The study reported here has made it possible to identify new technological aspects of obtaining an alloy by utilizing anthropogenic waste, and whose indicators provide for the possibility of replacing part of standard ferroalloys when smelting steels without strict restrictions on carbon content.

Keywords: oxide anthropogenic waste, alloy steel scale, 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>
- 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. doi: <https://doi.org/10.1007/s13563-017-0110-2>
- Mechachti, S., Benchiheb, 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.
- 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>
- Petryshchev, A., Milko, D., Borysov, V., Tsymbal, B., Hevko, I., Borysova, S., Semenchuk, A. (2019). Studying the physicalchemical transformations at resourcesaving reduction melting of chrome–nickelcontaining metallurgical waste. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (12 (98)), 59–64. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.160755>
- Borysov, V., Lytvynov, A., Braginet, N., Petryshchev, A., Artemev, S., Tsymbal, B. et al. (2020). Features of the phase and structural transformations in the processing of industrial waste from the production of highalloyed steels. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (10 (105)), 48–54. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.205779>
- Hryhoriev, S., Petryshchev, A., Shyshkanova, G., Zaytseva, T., Frydman, O., Sergienko, O. et al. (2017). Research into recycling of nickelcobaltcontaining metallurgical wastes by the ecologicallysafe technique of hydrogen reduction. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (10 (90)), 45–50. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.114348>
- Simonov, V. K., Grishin, A. M. (2013). Thermodynamic analysis and the mechanism of the solid-phase reduction of Cr₂O₃ with carbon: Part 1. *Russian Metallurgy (Metally)*, 2013 (6), 425–429. doi: <https://doi.org/10.1134/s0036029513060153>
- 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)
- 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)
- Baghdasaryan, A. M., Niazyan, O. M., Khachatryan, H. L., Kharatyan, S. L. (2014). DTA/TG study of tungsten oxide and ammonium tungstate reduction by (Mg+C) combined reducers at non-isothermal conditions. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 43, 216–221. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2013.12.003>
- Islam, M., Martinez-Duarte, R. (2017). A sustainable approach for tungsten carbide synthesis using renewable biopolymers. *Ceramics International*, 43 (13), 10546–10553. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2017.05.118>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.239015

DETERMINATION OF THE APPLICABILITY OF THE TUNGSTEN-CONTAINING MATERIAL AS LOW-COST ELECTRODES FOR REVERSE ELECTRODIALYSIS (p. 39–46)

Vadym Kovalenko

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

Valerii Kotok

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

Electrodialysis, especially reverse, is a promising method of water desalination, concentration of solutions, extraction of valuable components from waste and rinse water, and power generation. The main problem is the search for low-cost universal anode-cathode materials. The work aims to determine the possibility of using the VNZh90 superalloy (5 % Ni, 5 % Fe, 90 % W) and the electroplated Ni-W alloy as a universal cathode-anode material for reverse electro dialysis. The crystal structure of the Ni-W alloy was studied by X-ray diffraction analysis; the morphology was studied by scanning electron microscopy. The anodic behavior of both alloys was studied by voltammetry in 6 % HCl in a saturated NaCl solution.

The high passivity of the VNZh90 superalloy was revealed. On the repeated anodic curve, the current density of the passivation plateau decreased 2.8 times and was 37 mA/dm². This indicates that the use of the VNZh90 superalloy is promising as a universal cathode-anode material of a reverse electro dialyzer.

The phenomenon of significant passivation for the Ni-W alloy was also revealed. The primary curve of the alloy showed two dissolution peaks and a well-defined passivation plateau. Probably, the first peak corresponded to a more active phase with a low W content. This was confirmed by the absence of the first peak on the repeated anodic curve and the identity of the passivation plateaus of the primary and repeated curves. The passivation current density was 209 mA/dm². These data also indicate the possibility and prospects of using the electroplated Ni-W alloy as a universal cathode-anode material of a reverse electro dialyzer after optimizing the composition and deposition method of the alloy, as well as reducing the wear rate.

Keywords: reverse electro dialysis, universal electrode, superalloy, passivation, anodic behavior, tungsten, nickel.

References

- Brauns, E. (2008). Towards a worldwide sustainable and simultaneous large-scale production of renewable energy and potable water through salinity gradient power by combining reversed electro dialysis and solar power? *Desalination*, 219 (1-3), 312–323. doi: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.04.056>
- Doornbusch, G., van der Wal, M., Tedesco, M., Post, J., Nijmeijer, K., Borneman, Z. (2021). Multistage electro dialysis for desalination of natural seawater. *Desalination*, 505, 114973. doi: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2021.114973>
- Jang, J. (2021). Ion Exchange Membrane for Reverse Electro dialysis. *Academic Journal of Polymer Science*, 5 (1). doi: <https://doi.org/10.19080/ajop.2021.05.555654>
- Hulme, A. M., Davey, C. J., Tyrrel, S., Pidou, M., McAdam, E. J. (2021). Transitioning from electro dialysis to reverse electro dialysis stack design for energy generation from high concentration salinity gradients. *Energy Conversion and Management*, 244, 114493. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.114493>
- Loza, S. A., Smyshlyayev, N. A., Korzhov, A. N., Romanyuk, N. A. (2021). Electro dialysis concentration of sulfuric acid. *Chimica Techno Acta*, 8 (1), 20218106. doi: <https://doi.org/10.15826/chimtech.2021.8.1.06>
- Scialdone, O., D'Angelo, A., Galia, A. (2015). Energy generation and abatement of Acid Orange 7 in reverse electro dialysis cells using salinity gradients. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 738, 61–68. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2014.11.024>
- Luo, F., Wang, Y., Sha, M., Wei, Y. (2019). Correlations of Ion Composition and Power Efficiency in a Reverse Electro dialysis Heat Engine. *International Journal of Molecular Sciences*, 20 (23), 5860. doi: <https://doi.org/10.3390/ijms20235860>
- Logan, B. E., Elimelech, M. (2012). Membrane-based processes for sustainable power generation using water. *Nature*, 488 (7411), 313–319. doi: <https://doi.org/10.1038/nature11477>
- Luo, X., Cao, X., Mo, Y., Xiao, K., Zhang, X., Liang, P., Huang, X. (2012). Power generation by coupling reverse electro dialysis and ammonium bicarbonate: Implication for recovery of waste heat. *Electrochemistry Communications*, 19, 25–28. doi: <https://doi.org/10.1016/j.elecom.2012.03.004>
- Cusick, R. D., Kim, Y., Logan, B. E. (2012). Energy Capture from Thermolytic Solutions in Microbial Reverse-Electro dialysis Cells. *Science*, 335 (6075), 1474–1477. doi: <https://doi.org/10.1126/science.1219330>
- Altiok, E., Kaya, T. Z., Güler, E., Kabay, N., Bryjak, M. (2021). Performance of Reverse Electro dialysis System for Salinity Gradient Energy Generation by Using a Commercial Ion Exchange Membrane Pair with Homogeneous Bulk Structure. *Water*, 13 (6), 814. doi: <https://doi.org/10.3390/w13060814>
- Ortiz-Imedio, R., Gomez-Coma, L., Fallanza, M., Ortiz, A., Ibañez, R., Ortiz, I. (2019). Comparative performance of Salinity Gradient Power-Reverse Electro dialysis under different operating conditions. *Desalination*, 457, 8–21. doi: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2019.01.005>
- Veerman, J., Saakes, M., Metz, S. J., Harmsen, G. J. (2009). Reverse electro dialysis: Performance of a stack with 50 cells on the mixing of sea and river water. *Journal of Membrane Science*, 327 (1-2), 136–144. doi: <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2008.11.015>
- Tedesco, M., Brauns, E., Cipollina, A., Micale, G., Modica, P., Russo, G., Helsen, J. (2015). Reverse electro dialysis with saline waters and concentrated brines: A laboratory investigation towards technology scale-up. *Journal of Membrane Science*, 492, 9–20. doi: <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2015.05.020>
- Daniilidis, A., Vermaas, D. A., Herber, R., Nijmeijer, K. (2014). Experimentally obtainable energy from mixing river water, seawater or brines with reverse electro dialysis. *Renewable Energy*, 64, 123–131. doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.11.001>
- Othman, N. H., Kabay, N., Güler, E. (2021). Principles of reverse electro dialysis and development of integrated-based system for power generation and water treatment: a review. *Reviews in Chemical Engineering*. doi: <https://doi.org/10.1515/revce-2020-0070>
- Mehdizadeh, S., Kakihana, Y., Abo, T., Yuan, Q., Higa, M. (2021). Power Generation Performance of a Pilot-Scale Reverse Electro dialysis Using Monovalent Selective Ion-Exchange Membranes. *Membranes*, 11 (1), 27. doi: <https://doi.org/10.3390/membranes11010027>
- Vermaas, D. A., Veerman, J., Saakes, M., Nijmeijer, K. (2014). Influence of multivalent ions on renewable energy generation in reverse electro dialysis. *Energy & Environmental Science*, 7 (4), 1434–1445. doi: <https://doi.org/10.1039/c3ee43501f>
- Post, J. W., Goeting, C. H., Valk, J., Goinga, S., Veerman, J., Hamelers, H. V. M., Hack, P. J. F. M. (2010). Towards implementation of reverse electro dialysis for power generation from salinity gradients. *Desalination and Water Treatment*, 16 (1-3), 182–193. doi: <https://doi.org/10.5004/dwt.2010.1093>
- Veerman, J., Saakes, M., Metz, S. J., Harmsen, G. J. (2010). Electrical Power from Sea and River Water by Reverse Electro dialysis: A First Step from the Laboratory to a Real Power Plant. *Environmental Science & Technology*, 44 (23), 9207–9212. doi: <https://doi.org/10.1021/es1009345>
- Spoor, P. B. (2002). Removal of nickel ions from galvanic wastewater streams using a hybrid ion exchange - electro dialysis system. Technische Universiteit Eindhoven. doi: <https://doi.org/10.6100/IR551266>
- Deabate, S., Fourgeot, F., Henn, F. (2000). X-ray diffraction and micro-Raman spectroscopy analysis of new nickel hydroxide obtained by electro dialysis. *Journal of Power Sources*, 87 (1-2), 125–136. doi: [https://doi.org/10.1016/s0378-7753\(99\)00437-1](https://doi.org/10.1016/s0378-7753(99)00437-1)
- Deabate, S., Fourgeot, F., Henn, F. (1999). Structural and electrochemical characterization of nickel hydroxide obtained by the new synthesis route of electro dialysis. a comparison with spherical β -Ni(OH)₂. *Ionics*, 5 (5-6), 371–384. doi: <https://doi.org/10.1007/bf02376001>
- Kovalenko, V., Kotok, V. (2017). Definition of effectiveness of β -Ni(OH)₂ application in the alkaline secondary cells and hybrid supercapacitors. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (6 (89)), 17–22. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.110390>
- 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>
- Kovalenko, V., Kotok, V. (2018). Synthesis of Ni(OH)₂ by template homogeneous precipitation for application in the binderfree electrode of supercapacitor. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (12 (94)), 29–35. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.140899>
- Kovalenko, V., Kotok, V. (2017). Study of the influence of the template concentration under homogeneous precipitation on the properties of Ni(OH)₂ for supercapacitors. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (6 (88)), 17–22. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.106813>
- 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. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.127764>

29. 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
30. Kotok, V., Kovalenko, V., Vlasov, S. (2018). Investigation of NiAl 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>
31. 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>
32. 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>
33. 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>
34. 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>
35. Kovalenko, V., Kotok, V. (2020). Bifunctional indigocarmin-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>
36. 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>
37. Kovalenko, V., Kotok, V. (2020). Determination of the applicability of ZnAl 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>
38. Vermaas, D. A., Kunteng, D., Veerman, J., Saakes, M., Nijmeijer, K. (2014). Periodic Feedwater Reversal and Air Sparging As Antifouling Strategies in Reverse Electrodialysis. *Environmental Science & Technology*, 48 (5), 3065–3073. doi: <https://doi.org/10.1021/es4045456>
39. Tedesco, M., Scalici, C., Vaccari, D., Cipollina, A., Tamburini, A., Micale, G. (2016). Performance of the first reverse electrodialysis pilot plant for power production from saline waters and concentrated brines. *Journal of Membrane Science*, 500, 33–45. doi: <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2015.10.057>
40. Kim, H.-K., Lee, M.-S., Lee, S.-Y., Choi, Y.-W., Jeong, N.-J., Kim, C.-S. (2015). High power density of reverse electrodialysis with pore-filling ion exchange membranes and a high-open-area spacer. *Journal of Materials Chemistry A*, 3 (31), 16302–16306. doi: <https://doi.org/10.1039/c5ta03571f>
41. 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>
42. Vlasova, E., Kovalenko, V., Kotok, V., Vlasov, S., Sukhyy, K. (2017). A study of the influence of additives on the process of formation and corrosive properties of tripolyphosphate coatings on steel. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (12 (89)), 45–51. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.111977>
43. Gaona-Tiburcio, C., Aguilar, L. M. R., Zambrano, R. P., Estupiñán, L. F., Cabral, M. J. A., Nieves-Mendoza, D. et al. (2014). Electrochemical Noise Analysis of Nickel Based Superalloys in Acid Solutions. *International Journal of Electrochemical Science*, 9 (2), 523–533.
44. Ciesla, M., Manka, M., Gradon, P., Binczyk, F. (2014). Impact of a Structure on Durability of Modified Nickel-Base Superalloys in Creep Conditions. *Archives of Metallurgy and Materials*, 59 (4), 1559–1563. doi: <https://doi.org/10.2478/amm-2014-0264>
45. 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>
46. 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. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.218355>
47. 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. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.126928>
48. 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. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.121595>
49. Kuznetsova, O. G., Levin, A. M., Sevostyanov, M. A., Bolshih, A. O. (2019). Electrochemical recycling of nickel-cobalt-containing tungsten alloys. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 525, 012088. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/525/1/012088>
50. Kuznetsova, O. G., Levin, A. M., Sevast'yanov, M. A., Tsybin, O. I., Bol'shikh, A. O. (2019). Electrochemical Oxidation of a Heavy Tungsten-Containing VNZh-Type Alloy and Its Components in Ammonia–Alkali Electrolytes. *Russian Metallurgy (Metally)*, 2019 (5), 507–510. doi: <https://doi.org/10.1134/s0036029519050057>
51. Kuznetsova, O. G., Levin, A. M., Sevostyanov, M. A., Tsybin, O. I., Bolshikh, A. O. (2020). Changes in electrochemical properties of a heavy tungsten alloy during its processing under the influence of DC current in ammonia-alkali solutions. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 848, 012045. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/848/1/012045>
52. Kuznetsova, O. G., Levin, A. M., Sevostyanov, M. A., Tsybin, O. I., Bolshikh, A. O. (2020). AC electrochemical oxidation of nickel and VNZh alloy in alkaline-ammonium solutions. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 848, 012046. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/848/1/012046>
53. Sridhar, T. M., Eliaz, N., Gileadi, E. (2005). Electroplating of Ni4W. *Electrochemical and Solid-State Letters*, 8 (3), C58. doi: <https://doi.org/10.1149/1.1857114>
54. Eliaz, N., Sridhar, T. M., Gileadi, E. (2005). Synthesis and characterization of nickel tungsten alloys by electrodeposition. *Electrochimica Acta*, 50 (14), 2893–2904. doi: <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2004.11.038>

55. Zhu, L., Younes, O., Ashkenasy, N., Shacham-Diamand, Y., Gileadi, E. (2002). STM/AFM studies of the evolution of morphology of electroplated Ni/W alloys. *Applied Surface Science*, 200 (1-4), 1–14. doi: [https://doi.org/10.1016/s0169-4332\(02\)00894-2](https://doi.org/10.1016/s0169-4332(02)00894-2)
56. Trelewicz, J. R., Schuh, C. A. (2009). Hot nanoindentation of nanocrystalline Ni–W alloys. *Scripta Materialia*, 61 (11), 1056–1059. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2009.08.026>
57. Sulitanu, N., Brinza, F. (2003). Structure-properties Relationships in Electrodeposited Ni–W Thin Films with Columnar Nanocrystallites. *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*, 5 (2), 421–427.
58. Schloßmacher, P., Yamasaki, T. (2000). Structural Analysis of Electroplated Amorphous-Nanocrystalline Ni-W. *Microchimica Acta*, 132 (2-4), 309–313. doi: <https://doi.org/10.1007/s006040050074>
59. Cesiulis, H., Podlaha-Murphy, E. J. (2003). Electrolyte Considerations of Electrodeposited Ni-W Alloys for Microdevice Fabrication. *Materials Science (Medžiagotyra)*, 9 (4), 329–333. Available at: <https://matsc.ktu.lt/index.php/MatSc/article/view/26731>
60. Yamasaki, T. (2000). High-strength Nanocrystalline Ni-W Alloys Produced by Electrodeposition. *Mater. Phys. Mech.*, 1, 127–132. Available at: https://www.ipme.ru/e-journals/MPM/no_2100/yamasaki/yamasaki.pdf
61. Esther, P., Joseph Kennady, C., Saravanan, P., Venkataehalam, T. (2009). Structural and Magnetic Properties of Electrodeposited Ni-Fe-W Thin Films. *Journal of Non-Oxide Glasses*, 1 (3), 301–309. Available at: https://chalcogen.ro/301_Esther.pdf
62. Nenastina, T., Bairachnaya, T., Ved, M., Shtefan, V., Sakhnenko, N. (2007). Electrochemical Synthesis of Catalytic Active Alloys. *Functional Materials*, 14 (3), 395–400. Available at: <http://dspace.nbu.gov.ua/bitstream/handle/123456789/136993/24-Nenastina.pdf?sequence=1>
63. Zemanová, M., Krivosudská, M., Chovancová, M., Jorík, V. (2011). Pulse current electrodeposition and corrosion properties of Ni–W alloy coatings. *Journal of Applied Electrochemistry*, 41 (9), 1077–1085. doi: <https://doi.org/10.1007/s10800-011-0331-y>
64. Alimadadi, H., Ahmadi, M., Aliofkhaezrai, M., Younesi, S. R. (2009). Corrosion properties of electrodeposited nanocrystalline and amorphous patterned Ni–W alloy. *Materials & Design*, 30 (4), 1356–1361. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2008.06.036>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.238588

DEVELOPMENT IN MECHANICAL AND FATIGUE PROPERTIES OF AA6061/AL₂O₃ NANOCOMPOSITES UNDER STIRRING TEMPERATURE (ST) (p. 47–52)

Raad Mohammed Abed

Ministry of Higher Education and Scientific Research, Baghdad, Iraq
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0112-8327>

Ali Yousuf Khenyab

Al- Salam University, Baghdad, Iraq
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9470-417X>

Hussain Jasim M. Alalkawi

University of Technology, Baghdad, Iraq, 19006
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2497-3400>

Aluminum is expected to remain the core material for many critical applications such as aircraft and automobiles. This is due to the high resistance to different environmental conditions, desired and manageable mechanical properties, as well as high fatigue resistance. Aluminum nanocomposites such as AA6061/Al₂O₃ can be made in many ways using a liquid metallurgy method. The main challenges for this method in the production of nanocomposites are the difficulties of achieving a uniform distribution of reinforcing materials and possible chemical reactions between the reinforcing material

and the matrix. For structural applications exclusive to aerospace sectors. The growing cost-effective nanocomposites mass production technology with essential operational and geometric flexibility is a big challenge all the time. Each method of preparing AA6061/Al₂O₃ nanocomposites can provide different mechanical properties. In the present study, nine nanocomposites were prepared at three stirring temperatures (800, 850, and 900 °C) with the level of Al₂O₃ addition of 0, 5, 7, and 9 wt %. The results of tensile, hardness and fatigue tests revealed that the composite including 9 wt % Al₂O₃ with 850 °C stirring temperatures has the best properties. It was also revealed that the 850 °C stirring temperature (ST) with 9 wt % Al₂O₃ composite provide an increase in tensile strength, VHN and reduction in ductility by 20 %, 16 % and 36.8 % respectively, compared to zero-nano. Also, the fatigue life at the 90 MPa stress level increased by 17.4 % in comparison with 9 wt % nanocomposite at 800 °C (ST). Uniform distributions were observed for all nine microstructure compositions.

Keywords: 6061 aluminum alloy, Al₂O₃ nanoparticles, nanocomposites, stirring temperatures, stir casting method, mechanical and fatigue properties.

References

1. Mohanty, P., Mahapatra, R., Padhi, P., Ramana, C. V. V., Mishra, D. K. (2020). Ultrasonic cavitation: An approach to synthesize uniformly dispersed metal matrix nanocomposites – A review. *Nano-Structures & Nano-Objects*, 23, 100475. doi: <https://doi.org/10.1016/j.nanoso.2020.100475>
2. Singh, L., Singh, B., Saxena, K. K. (2020). Manufacturing techniques for metal matrix composites (MMC): an overview. *Advances in Materials and Processing Technologies*, 6 (2), 441–457. doi: <https://doi.org/10.1080/2374068x.2020.1729603>
3. El-Mahallawi, I., Shash, A., Amer, A. (2015). Nanoreinforced Cast Al-Si Alloys with Al₂O₃, TiO₂ and ZrO₂ Nanoparticles. *Metals*, 5 (2), 802–821. doi: <https://doi.org/10.3390/met5020802>
4. Iqbal, A., Nuruzzaman, D. M. (2016). Effect of the reinforcement on the mechanical properties of aluminium matrix composite: A review. *International journal of applied Engineering research*, 11 (21), 10408–10413.
5. Alalkawi, H. J. M., Hamdany, A. A., Alasadi, A. A. (2017). Influence of Nanoreinforced Particles (Al₂O₃) on Fatigue Life and Strength of Aluminium Based Metal Matrix Composite. *Al-Khwarizmi Engineering Journal*, 13 (3), 91–99. doi: <https://doi.org/10.22153/kej.2017.03.005>
6. Liu, Z., Mao, W., Zhao, Z. (2006). Effect of pouring temperature on semi-solid slurry of A356 Al alloy prepared by weak electromagnetic stirring. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 16 (1), 71–76. doi: [https://doi.org/10.1016/s1003-6326\(06\)60013-7](https://doi.org/10.1016/s1003-6326(06)60013-7)
7. Haque, S., Ansari, A. H., Bharti, P. K. (2014). Effect Of Pouring Temperature And Stirring Speed On Mechanical, Microstructure And Machining Properties Of Al6061-Cu Reinforced Sisp Metal Matrix Composites. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 03 (10), 104–109. doi: <https://doi.org/10.15623/ijret.2014.0322022>
8. 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. doi: <https://doi.org/10.1007/s13369-016-2094-6>
9. Rajesh, N., Yohan, M. (2016). Recent Studies In Aluminium Metal Matrix Nano Composites (AMMNCs) – A Review. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 7 (6), 618–623.
10. Majdi, H. S., Habeeb, L. J. (2020). Utilizing the Characteristics of Graphene Nano-Platelets to Improve the Cross-Linking Density of a Rubber Nano-Composite. *Journal of Nanostructures*, 10 (4), 723–735.

11. Al-Wajidi, W., Deiab, I., Defersha, F. M., Elsayed, A. (2018). Effect of MQL on the microstructure and strength of friction stir welded 6061 Al alloy. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 101 (1-4), 901–912. doi: <https://doi.org/10.1007/s00170-018-2957-y>
12. Al Alkawi, H. J., Owaidand, A., Kadhim, B. (2018). Characterization of AA 6061–Alloy Composites Reinforced by Al₂O₃ Nano Particles Obtained by Stir Casting. *Engineering and Technology Journal*, 36 (7A). doi: <https://doi.org/10.30684/etj.36.7a.12>
13. Al-Salihi, H. A., Mahmood, A. A., Alalkawi, H. J. (2019). Mechanical and wear behavior of AA7075 aluminum matrix composites reinforced by Al₂O₃ nanoparticles. *Nanocomposites*, 5 (3), 67–73. doi: <https://doi.org/10.1080/20550324.2019.1637576>
14. Jiang, J., Xiao, G., Che, C., Wang, Y. (2018). Microstructure, Mechanical Properties and Wear Behavior of the Rheoformed 2024 Aluminum Matrix Composite Component Reinforced by Al₂O₃ Nanoparticles. *Metals*, 8 (6), 460. doi: <https://doi.org/10.3390/met8060460>
15. Zhang, Z., Li, Z., Tan, Z., Zhao, H., Fan, G., Xu, Y. et al. (2021). Bioinspired hierarchical Al₂O₃/Al laminated composite fabricated by flake powder metallurgy. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 140, 106187. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2020.106187>
16. Su, H., Gao, W., Feng, Z., Lu, Z. (2012). Processing, microstructure and tensile properties of nano-sized Al₂O₃ particle reinforced aluminum matrix composites. *Materials & Design* (1980-2015), 36, 590–596. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2011.11.064>
17. Kant, S., Verma, A. S. (2017). Stir casting process in particulate aluminium metal matrix composite: a review. *International Journal of Mechanics and Solids*, 12 (1), 61–69.
18. Alalkawi, H. J. M., Mohammed, A. M., Majid, R. H. (2019). Influence of Stirring Speed on Mechanical Properties for Cast Nano-Particulate AA7075-Al₂O₃ Composites. *Al-Nahrain Journal for Engineering Sciences*, 22 (2), 109–116. doi: <https://doi.org/10.29194/njes.22020109>
19. Al-Jaafari, M. A. A. (2021). Study the effects of different size of Al₂O₃ nanoparticles on 6066AA and 7005AA composites on mechanical properties. *Materials Today: Proceedings*, 42, 2909–2913. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.747>
20. Bharath, V., Nagaral, M., Auradi, V., Kori, S. (2014). Preparation of 6061Al-Al₂O₃ MMC's by stir casting and evaluation of mechanical and wear properties. *Procedia Materials Science*, 6, 1658–1667. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mspro.2014.07.151>
21. Sajjadi, S. A., Ezatpour, H. R., Beygi, H. (2011). Microstructure and mechanical properties of Al–Al₂O₃ micro and nano composites fabricated by stir casting. *Materials Science and Engineering: A*, 528 (29-30), 8765–8771. doi: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2011.08.052>
22. Kandpal, B. C., Kumar, J., Singh, H. (2017). Fabrication and characterisation of Al₂O₃/aluminium alloy 6061 composites fabricated by Stir casting. *Materials Today: Proceedings*, 4 (2), 2783–2792. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.02.157>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.239114

DETERMINATION OF THE EFFECT OF CARBON NANOTUBES ON THE MICROSTRUCTURE AND FUNCTIONAL PROPERTIES OF POLYCARBONATE-BASED POLYMER NANOCOMPOSITE MATERIALS (p. 53–60)

Eduard Lysenkov

Petro Mohyla Black Sea National University, Mykolaiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1369-4609>

Leonid Klymenko

Petro Mohyla Black Sea National University, Mykolaiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3458-9453>

Polymer nanocomposites are widely used in various high-tech industries. Due to the combination of the elasticity of the matrix and the strength of the inorganic filler, they have improved functional characteristics compared to unfilled polymers. The article is devoted to determining the effect of carbon nanotubes (CNT) on the microstructure and properties of polymeric nanocomposite materials for 3D printing based on polycarbonate. As a result of this work, a series of composite materials was manufactured using a piston extruder. Their microstructure and functional characteristics were investigated using methods of optical microscopy, thermophysical, electrical and mechanical analysis. It was found that CNTs form clusters in the polymer matrix, which form a percolation network at a content of 0.5–0.8 %. This feature of the structure formation of CNTs provided an abrupt increase in the functional characteristics of the materials obtained. It is shown that with an increase in the filler content in the system to 3 %, the thermal conductivity rapidly increases to 1.22 W/(m·K). A similar effect is observed for the electrical conductivity, which increases by seven orders of magnitude from 10⁻¹² to 10⁻⁵ S/cm at 3 % CNT content in the system, exhibiting percolation behavior. With the introduction of CNTs, the crystallinity degree of the polymer matrix decreases by almost 15 %, due to the fact that the developed surface of the nanotubes creates steric hindrances for polycarbonate macromolecules. This effect almost negates the reinforcing effect of nanotubes; therefore, the mechanical tensile strength with the introduction of 3 % CNTs increases by only 21 % compared to the unfilled matrix. In terms of their functional characteristics, the obtained materials are promising for the creation of filaments for 3D printing on their basis.

Keywords: polymer nanocomposites, carbon nanotubes, thermal conductivity, electrical conductivity, tensile strength, polycarbonate.

References

1. Muhammed Shameem, M., Sasikanth, S. M., Annamalai, R., Ganapathi Raman, R. (2021). A brief review on polymer nanocomposites and its applications. *Materials Today: Proceedings*, 45, 2536–2539. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.11.254>
2. Gomez-Gras, G., Jerez-Mesa, R., Travieso-Rodriguez, J. A., Lluma-Fuentes, J. (2018). Fatigue performance of fused filament fabrication PLA specimens. *Materials & Design*, 140, 278–285. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2017.11.072>
3. Kaur, G., Singari, R. M., Kumar, H. (2021). A review of fused filament fabrication (FFF): Process parameters and their impact on the tribological behavior of polymers (ABS). *Materials Today: Proceedings*. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.06.274>
4. Fang, L., Yan, Y., Agarwal, O., Seppala, J. E., Hemker, K. J., Kang, S. H. (2020). Processing-structure-property relationships of bisphenol-A-polycarbonate samples prepared by fused filament fabrication. *Additive Manufacturing*, 35, 101285. doi: <https://doi.org/10.1016/j.addma.2020.101285>
5. Zhang, X., Fan, W., Liu, T. (2020). Fused deposition modeling 3D printing of polyamide-based composites and its applications. *Composites Communications*, 21, 100413. doi: <https://doi.org/10.1016/j.coco.2020.100413>
6. Wang, X., Jiang, M., Zhou, Z., Gou, J., Hui, D. (2017). 3D printing of polymer matrix composites: A review and prospective. *Composites Part B: Engineering*, 110, 442–458. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2016.11.034>
7. Kukla, C., Gonzalez-Gutierrez, J., Duretek, I., Schuschnigg, S., Holzer, C. (2017). Effect of Particle Size on the Properties of Highly-Filled Polymers for Fused Filament Fabrication. *AIP Conference Proceedings*, 1914, 190006. doi: <https://doi.org/10.1063/1.5016795>

8. Çanti, E., Aydın, M., Yıldırım, F. (2018). Production and Characterization of Composite Filaments for 3D Printing. *Journal of Polytechnic*, 21 (2), 397–402. doi: <https://doi.org/10.2339/politeknik.389591>
9. Angelopoulos, P. M., Samouhos, M., Taxiarchou, M. (2021). Functional fillers in composite filaments for fused filament fabrication; a review. *Materials Today: Proceedings*, 37, 4031–4043. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.07.069>
10. Chen, J., Liu, B., Gao, X., Xu, D. (2018). A review of the interfacial characteristics of polymer nanocomposites containing carbon nanotubes. *RSC Advances*, 8 (49), 28048–28085. doi: <https://doi.org/10.1039/c8ra04205e>
11. Lysenkov, E. A., Klepko, V. V. (2016). Analysis of Percolation Behavior of Electrical Conductivity of the Systems Based on Polyethers and Carbon Nanotubes. *Journal of Nano- and Electronic Physics*, 8 (1), 01017-1–01017-7. doi: [https://doi.org/10.21272/jnep.8\(1\).01017](https://doi.org/10.21272/jnep.8(1).01017)
12. Mora, A., Verma, P., Kumar, S. (2020). Electrical conductivity of CNT/polymer composites: 3D printing, measurements and modeling. *Composites Part B: Engineering*, 183, 107600. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.107600>
13. Lysenkov, É. A., Klepko, V. V. (2015). Characteristic Features of the Thermophysical Properties of a System Based on Polyethylene Oxide and Carbon Nanotubes. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 88 (4), 1008–1014. doi: <https://doi.org/10.1007/s10891-015-1278-3>
14. Tsiakatouras, G., Tsellou, E., Stergiou, C. (2014). Comparative study on nanotubes reinforced with carbon filaments for the 3D printing of mechanical parts. *World Transactions on Engineering and Technology Education*, 12 (3), 392–396. Available at: [http://www.wiete.com.au/journals/WTE%26TE/Pages/Vol.12,%20No.3%20\(2014\)/11-Tsiakatouras-G.pdf](http://www.wiete.com.au/journals/WTE%26TE/Pages/Vol.12,%20No.3%20(2014)/11-Tsiakatouras-G.pdf)
15. Melezhib, A. V., Sementsov, Y. I., Yanchenko, V. V. (2005). Synthesis of Fine Carbon Nanotubes on Coprecipitated Metal Oxide Catalysts. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 78 (6), 917–923. doi: <https://doi.org/10.1007/s11167-005-0420-y>
16. Lysenkov, E., Klymenko, L. (2021). Determining the effect of dispersed aluminum particles on the functional properties of polymeric composites based on polyvinylidene fluoride. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (12 (111)), 59–66. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.228731>
17. Hoshen, J., Kopelman, R. (1976). Percolation and cluster distribution. I. Cluster multiple labeling technique and critical concentration algorithm. *Physical Review B*, 14 (8), 3438–3445. doi: <https://doi.org/10.1103/physrevb.14.3438>
18. Feder, J. (1988). *Fractals*. Springer, 284. doi: <https://doi.org/10.1007/978-1-4899-2124-6>
19. Bauhofer, W., Kovacs, J. Z. (2009). A review and analysis of electrical percolation in carbon nanotube polymer composites. *Composites Science and Technology*, 69 (10), 1486–1498. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2008.06.018>
20. Kirkpatrick, S. (1973). Percolation and Conduction. *Reviews of Modern Physics*, 45 (4), 574–588. doi: <https://doi.org/10.1103/revmodphys.45.574>
21. Larosa, C., Patra, N., Salerno, M., Mikac, L., Merijs Meri, R., Ivanda, M. (2017). Preparation and characterization of polycarbonate/multiwalled carbon nanotube nanocomposites. *Beilstein Journal of Nanotechnology*, 8, 2026–2031. doi: <https://doi.org/10.3762/bjnano.8.203>
22. Kong, Y., Hay, J. N. (2003). The enthalpy of fusion and degree of crystallinity of polymers as measured by DSC. *European Polymer Journal*, 39 (8), 1721–1727. doi: [https://doi.org/10.1016/s0014-3057\(03\)00054-5](https://doi.org/10.1016/s0014-3057(03)00054-5)
23. Grebowicz, J. S. (1996). Thermal properties of polycarbonate grade bisphenol A. *Journal of Thermal Analysis*, 46 (3-4), 1151–1166. doi: <https://doi.org/10.1007/bf01983626>
24. Kumanek, B., Janas, D. (2019). Thermal conductivity of carbon nanotube networks: a review. *Journal of Materials Science*, 54 (10), 7397–7427. doi: <https://doi.org/10.1007/s10853-019-03368-0>
25. Lysenkov, E. A., Dinzhos, R. V. (2019). Theoretical Analysis of Thermal Conductivity of Polymer Systems Filled with Carbon Nanotubes. *Journal of Nano- and Electronic Physics*, 11 (4), 04004-1–04004-6. doi: [https://doi.org/10.21272/jnep.11\(4\).04004](https://doi.org/10.21272/jnep.11(4).04004)
26. Lysenkov, E. A., Klepko, V. V., Yakovlev, Yu. V. (2015). Influence of the Filler's Size on the Percolation Behavior in the Polyethylene Glycol/Carbon Nanotubes System. *Journal of Nano- and Electronic Physics*, 7 (1), 01031. Available at: https://jnep.sumdu.edu.ua/en/full_article/1447
27. Stauffer, D., Aharony, A. (1994). *Introduction to percolation theory*. Taylor & Francis, 192. doi: <https://doi.org/10.1201/9781315274386>
28. Zhi, X., Zhang, H.-B., Liao, Y.-F., Hu, Q.-H., Gui, C.-X., Yu, Z.-Z. (2015). Electrically conductive polycarbonate/carbon nanotube composites toughened with micron-scale voids. *Carbon*, 82, 195–204. doi: <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2014.10.062>
29. Klepko, V. V., Lysenkov, E. A. (2015). Features of Percolation Transition in Systems on the Basis of Oligoglycols and Carbon Nanotubes. *Ukrainian Journal of Physics*, 60 (9), 944–949. doi: <https://doi.org/10.15407/ujpe60.09.0944>
30. Han, Z., Fina, A. (2011). Thermal conductivity of carbon nanotubes and their polymer nanocomposites: A review. *Progress in Polymer Science*, 36 (7), 914–944. doi: <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2010.11.004>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.238452

DETERMINATION OF THE INFLUENCE OF A FILLER ON THE PROPERTIES OF COMPOSITE MATERIALS BASED ON POLYTETRAFLUOROETHYLENE FOR TRIBOSYSTEMS OF MECHANISMS AND MACHINES (p. 61–70)

Volodymyr Dudin

Dnipro State Agrarian and Economic University, Dnipro, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1414-7690>

Dmytro Makarenko

Dnipro State Agrarian and Economic University, Dnipro, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3166-6249>

Oleksii Derkach

Dnipro State Agrarian and Economic University, Dnipro, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5537-8022>

Yevhen Muranov

Dnipro State Agrarian and Economic University, Dnipro, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9148-217X>

This paper reports a comprehensive laboratory study into the thermophysical, physical-mechanical characteristics, and tribological properties of the designed composite materials based on polytetrafluoroethylene. In the structures of machines and mechanisms, a significant role belongs to the tribological conjugations made from polymeric and polymer-composite materials. The reliability of machines, in general, depends to a large extent on the reliability of movable connections. Composite materials of nonmetallic origin have a low cost, they are resistant to most aggressive chemicals and are capable of operating under conditions without lubrication. It was established that the characteristics and properties of materials must be adapted to the working conditions of separately considered tribological conjugations.

The mechanisms of thermal destruction have been established, both in the basic material and the carbon fiber based on it. It was found that carbon fiber, regardless of its content (quantity) in the polymer-composite material based on polytetrafluoroethylene, is mainly oriented perpendicular to the force application plane. It was found that with an increase in the carbon fiber content from 10 to 40 % by weight, the heat capacity decreases by 16–39 % compared to the main material. The optimal operating modes for the designed composite materials have been substantiated on the basis of a pv factor: under a dry friction mode – up to 4 MPa·m/s; at friction with lubrication – up to 36.4 MPa·m/s. The dependence has been established of the friction coefficient on the operating modes of a composite material based on polytetrafluoroethylene containing 20 % by weight of carbon fiber when lubricated with oil and water.

The results reported here make it possible to synthesize the physical-mechanical characteristics and tribological properties of composite materials in accordance with the required modes of tribological conjugation.

Keywords: polytetrafluoroethylene, polymer-composite material, carbon fiber, tribological conjugation, physical-mechanical characteristics, tribological properties.

References

- Smith, D. W., Iacono, S. T., Iyer, S. S. (2014). Handbook of fluoropolymer science and technology. John Wiley & Sons, Inc. doi: <https://doi.org/10.1002/9781118850220>
- Singh, A. K., Siddhartha, Singh, P. K. (2017). Polymer spur gears behaviors under different loading conditions: A review. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology, 232 (2), 210–228. doi: <https://doi.org/10.1177/1350650117711595>
- Aulin, V., Derkach, O., Makarenko, D., Hrynkiv, A., Pankov, A., Tykhyi, A. (2019). Analysis of tribological efficiency of movable junctions “polymeric composite materials – steel.” Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4 (12 (100)), 6–15. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.176845>
- Kobets, A., Aulin, V., Derkach, O., Makarenko, D., Hrynkiv, A., Krutous, D., Muranov, E. (2020). Design of mated parts using polymeric materials with enhanced tribotechnical characteristics. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 5 (12 (107)), 49–57. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.214547>
- Budnyk, O. A., Burmistr, M. V. (2009). Naukovi osnovy vyboru tekhnolohiyi vuhletsevovoloknystoho napovniuvacha ftoroplastomatrichnoho kompozytu. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4 (10 (40)), 4–7. Available at: <http://journals.urau.ua/eejet/article/view/22342>
- Budnik, O. A. (2014). Fiziko-himicheskie i tekhnologicheskie aspekty podgotovki uglevoloknistogo napolnitelya dlya kompozita na osnovе politetraforetilena. Vestnik BGTU im. V. G. Shuhova, 2, 116–122.
- Tang, G., Chang, D., Wang, D., He, J., Mi, W., Zhang, J., Wang, W. (2012). Mechanical Property Improvement of Carbon Fiber-Reinforced PTFE Composites by PA6 Filler Dispersion. Polymer-Plastics Technology and Engineering, 51 (4), 377–380. doi: <https://doi.org/10.1080/03602559.2011.639831>
- Berladir, K., Sviderskiy, V. (2016). Designing and examining polytetrafluoroethylene composites for tribotechnical purposes with activated ingredients. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6 (6 (84)), 14–21. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.85095>
- Kirillina, Y. V., Lazareva, N. N., Sleptsova, S. A., Okhlopko, A. A. (2016). Effect of organomodified layered silicates on the properties and structure of polytetrafluoroethylene. Polymer Science Series A, 58 (1), 95–101. doi: <https://doi.org/10.1134/s0965545x16010065>
- Konova, E. M., Sakhno, Yu. E., Khatipov, S. A., Klimenko, V. G., Sychkova, S. T., Sakhno, T. V. (2011). Mechanical and optical properties of polytetrafluoroethylene treated by γ -irradiation near the melting point. Physics and chemistry of solid state, 12 (4), 1013–1017.
- Dykha, A., Svidersky, V., Danilenko, I., Bilichenko, V., Kukurudzyak, Y., Kirichenko, L. (2020). Design and study of nanomodified composite fluoropolymer materials for tribotechnical purposes. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 5 (12 (107)), 38–48. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.214533>
- Vishal, K., Rajkumar, K., Sabarinathan, P. (2021). Effect of Recovered Silicon Filler Inclusion on Mechanical and Tribological Properties of Polytetrafluoroethylene (PTFE) Composite. Silicon. doi: <https://doi.org/10.1007/s12633-021-01250-w>
- Shestak, Ya. (1987). Teoriya termicheskogo analiza. Fiziko-himicheskie svoystva tverdyh neorganicheskikh veshchestv. Moscow: Mir, 456.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.238634

ПОРІВНЯННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ МЕТАЛУРГІЙНОЇ ВЗАЄМОДІЇ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ РІЗНИХ СПОСОБІВ ДУГОВОГО І ПЛАЗМОВОГО НАПЛАВЛЕННЯ СТАЛЕВОГО ДРОТУ НА ТИТАН (с. 6–17)**В. М. Коржик, В. Ю. Хаскін, А. А. Гринюк, О. В. Ганущак, С. І. Пелешенко, О. В. Конорева, О. І. Дем'янов, В. О. Щерецький, Н. М. Фіалко**

Досліджувалися закономірності міжфазної взаємодії, особливості утворення інтерметалідних фаз (ІМФ) і дефектів при наплавленні сталі на титан чотирма способами: Р-MAG, СМТ, плазмове наплавлення непрямою дугою зі струмопровідним дротом і РАУ. Встановлено загальну тенденцію появи ІМФ при наплавленні сталі на титан усіма розглянутими методами. Визначено, що спосіб плазмового наплавлення непрямою дугою зі струмопровідним дротом найменш критичний до утворення ІМФ. Він дозволяє отримувати інтерметалідний прошарок мінімальної товщини (25...54 мкм) в поєднанні з найкращою якістю формування валиків наплавленого металу. Подальша мінімізація розміру цього прошарку ускладнюється критичним зниженням тепловкладання в метал, яке призводить до здатності металу, що наплавляють, збиратися в окремі краплі. У перехідній зоні наплавки сталі на титан зафіксовано утворення ІМФ TiFe_2 , TiFe і фази $\alpha\text{-Fe}$, збагаченої титаном в різному процентному складі для різних способів і режимів наплавлення. Дослідження показали можливість утворення окрім фаз TiFe_2 і TiFe фази Ti_2Fe при малому тепловкладанні. Спосіб плазмового наплавлення непрямою дугою зі струмопровідним дротом дозволяє мінімізувати тепловий вплив на основний метал. При його застосуванні на межі переходу наплавленого сталевому шару на титан фазовий склад і структура шарів в окремих випадках наближаються до складу та структури перехідної зони вихідного біметалічного листа «титан-сталь» отриманого прокаткою. Утворюється прошарок товщиною до 5 мкм з β -фази з концентрацією заліза 44.65 % мас. та інтерметалідний прошарок товщиною до 0.2...0.4 мкм, близький за складом до фази TiFe . Наступним етапом мінімізації утворення ІМФ може бути введення бар'єрного шару між титаном і сталлю.

Ключові слова: біметал «сталь-титан», інтерметалідні фази, формування валиків, зона сплавлення.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.233349

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ОБРОБКИ ГАРЯЧЕКАТАНОЇ ЛИСТОВОЇ СТАЛІ МЕТОДОМ ГАРТУВАННЯ І ГАРТУВАННЯ З ВІДПУСКОМ НА ПІДВИЩЕННЯ ТВЕРДОСТІ ПО ВІККЕРСУ (с. 18–24)**Achmad Taufik, Pratikto, Agus Suprpto, Achmad As'ad Sonief**

У статті визначається вплив радіуса вигину на розподіл твердості, гранулометричний склад і мікроструктуру на площі поверхні розтягувального напруження і напруги стиснення після вигину і гартування з відпуском. Тестування матеріалу допомагає визначити і проаналізувати його якість. Проводилося дослідження вигину матеріалу гарячекатаної листової сталі радіусом 50 мм, 55 мм, 60 мм, 65 мм і 70 мм з відстанню вимірювання 1 мм, 2 мм і 3 мм, найбільше значення було отримано при радіусі 55 мм з відстанню вимірювання 1 мм. Після обробки гартуванням з відпуском з часом витримки 30 хвилин було отримано значення 498 HV при радіусі 70 мм з відстанню вимірювання 2 мм. Випробування на твердість проводили при температурі аустеніту 900 °С, за результатами випробувань мікроструктури були отримані більш дрібні зерна в області стиснення $r=2,173$ мкм і в області розтягування $r=2,34$ мкм. Метою даного спостереження є визначення мікроструктури матеріалу, що піддається процесу термічної обробки при температурі 900 °С з часом витримки 30 хвилин з використанням води в якості охолоджуючого середовища. Результати спостереження за мікроструктурою випробовуваних зразків до процесу гартування з відпуском показали, що структура фериту була більш домінуючою, ніж перліт, але після процесу гартування з відпуском результати показали, що перліту було більше, ніж фериту, через присутність аустеніту. Обробка по перетворенню лінії Ag_3 призводить до того, що твердість змінює форму мікроструктури мартенситу в сталь, в той час як товщина науглецьовуючого шару збільшується зі збільшенням температури карбонізації на поверхні загартованого зразка, що призводить до утворення мартенситу і залишкового аустеніту, що викликає затвердіння покриття.

Ключові слова: мартенсит, ферит, перліт, вигин, гартування, відпуск, мікроструктура.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.234174

ВПЛИВ ХОЛОДНОЇ ПРОКАТКИ І ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ГАЗОВОГО АЗОТУВАННЯ НА УТВОРЕННЯ АУСТЕНІТНОЇ ФАЗИ В НЕІРЖАВІЮЧІЙ СТАЛІ AISI 430 (с. 25–32)**Ika Kartika, Kevin Kurnia, Galih Senopati, Joko Triwardono, Bambang Hermanto, Made Subekti Dwijaya, Fendy Rokhmanto, Alfirano**

Аустенітна неіржавіюча сталь є найбільш часто використовуваним матеріалом при виробництві ортопедичних протезів. У даному дослідженні неіржавіюча сталь AISI 430 (0,12 мас. % С; 1 мас. % Si; 1 мас. % Mn; 18 мас. % Cr; 0,04 мас. % P і 0,03 мас. % S) буде модифікована шляхом створення аустеніту і усунення його феромагнітних властивостей за допомогою процесу високотемпературного газового азотування. Холодна прокатка з різним відсотком обтиску (30, 50 і 70 %) супроводжувалася газовим азотуванням при температурі 1200 °С з часом витримки 5, 7 і 9 годин, потім проводилося гартування у воді на відпаленій неіржавіючій сталі AISI 430. Утворення аустенітної фази досліджували методом рентгеноструктурного аналізу. Мікроструктуру і дисперсію елементів спостерігали за допомогою СЕМ-ЕРС (скануючий електронний мікроскоп-енергодисперсійна спектроскопія), механічні властивості після газового азотування і гартування у воді визначали за допомогою випробування на мікротвердість по Віккерсу. На всіх стадіях процесу газового

азотування ГЦК залізо вказувало на наявність аустенітної фази на поверхні сплаву незважаючи на присутність феритової фази. Інтенсивність утворення аустеніту досягається шляхом 70 %-ного обтиску при холодній прокатці при 5-годинному газовому азотуванні. Крім того, в результаті 50 %-ного обтиску при холодній прокатці і 9-годинного процесу газового азотування з подальшим гартуванням у воді був сформований шар азоту з максимальною товщиною приблизно 3,14 мкм. Твердість в цьому стані досягала 600 HVN. Це пов'язано з розподілом вуглецю, сконцентрованого на поверхні. У міру збільшення відсотка обтиску в процесі холодної прокатки міцність неіржавіючої сталі AISI 430 після газового азотування може збільшуватися, викликаючи збільшення кількості дислокацій. Найвища міцність на розрив і твердість неіржавіючої сталі AISI 430 669 МПа і 271,83 HVN були отримані при 70%-ному обтиску.

Ключові слова: неіржавіюча сталь AISI 430, аустеніт, високотемпературне газове азотування, холодна прокатка, шар азоту.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.238763

ВИЯВЛЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ СТРУКТУРНО-ФАЗОВИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ ПРИ ПЕРЕРОБЦІ ВІДХОДІВ ВІД ВИРОБНИЦТВА ВИСОКОЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ (с. 33–38)

В. В. Борисов, Т. Ю. Соломко, М. М. Ямшинський, І. В. Лук'яненко, Б. М. Цимбал, А. М. Андрєєв, В. В. Братішко, Т. О. Білько, В. І. Ребенко, Т. С. Чорна

Досліджено особливості структурно-фазового складу сплаву, отриманого з використанням техногенних відходів виробництва високолегованих сталей із застосуванням відновлювальної плавки. Це необхідно для визначення технологічних параметрів, що забезпечують зменшення втрат легуючих елементів в процесі отримання та використання легуючого сплаву. Проведені дослідження свідчать, що при співвідношенні О:С в шихті 1,84 сплав складався в основному з твердого розчину вуглецю та легуючих елементів в α -Fe. Прояв карбиду Fe_3C із легуючими елементами в якості атомів заміщення мав відносно слабку інтенсивність. При співвідношеннях О:С в шихті 1,42 та 1,17 спостерігалось підвищення інтенсивності прояву карбиду Fe_3C . Разом з цим, було визначено появу карбідних з'єднань W_2C - Mo_2C та WC . На зображеннях мікроструктури були присутні декілька фаз з різним вмістом легуючих елементів. Вміст Сг в досліджених ділянках змінювався в межах 0,64–33,86 % мас., вміст W досягав 41,58 % мас., Мо – 19,53 % мас., V – 18,55 % мас., Со – 3,95 % мас. Вміст вуглецю був в межах 0,28–2,43 % мас. Аналіз результатів досліджень свідчить, що найбільш вигідним співвідношенням О:С в шихті було 1,42. При цьому у фазовому складі переважав твердий розчин легуючих елементів та вуглецю в α -Fe. Частка залишкового вуглецю, що зосереджувалась в карбідній складовій, знаходилась в межах 0,52–2,11 % мас., забезпечуючи необхідну відновну здатність сплаву при використанні. Проведені дослідження дозволили виявити нові технологічні аспекти отримання сплаву з використанням техногенних відходів, показники якого забезпечують можливість заміни частини стандартних феросплавів при виплавці сталей без жорстких обмежень за вмістом вуглецю.

Ключові слова: оксидні техногенні відходи, окалина легованих сталей, відновна плавка, рентгенофазові дослідження.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.239015

ВИЗНАЧЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВОЛЬФРАМ-ВМІСНИХ МАТЕРІАЛІВ В ЯКОСТІ НИЗЬКОВАРТІСНИХ ЕЛЕКТРОДІВ ДЛЯ РЕВЕРСИВНОГО ЕЛЕКТРОДІАЛІЗУ (с. 39–46)

В. Л. Коваленко, В. А. Коток

Електродіаліз, особливо реверсивний, є перспективним методом опріснення води, концентрування розчинів, вилучення цінних компонентів зі стічних і промивних вод, генерації електроенергії. Основною проблемою є пошук низько-вартісних універсальних анодно-катодних матеріалів. Метою роботи є визначення можливості застосування твердого сплаву ВНЖ90 (5 % Ni, 5 % Fe, 90 % W) і гальванічно нанесеного сплаву Ni-W у якості універсального катодно-анодного матеріалу для реверсивного електродіалізу. Кристалічну структуру сплаву Ni-W вивчили методом рентгенофазового аналізу, морфологію – скануючою електронною мікроскопією. Анодне поведіння обох сплавів вивчено методом вольтамперометрії в 6 % HCl у насиченому розчині NaCl.

Виявлено високу пасивність твердого сплаву ВНЖ90. На повторній анодній кривій щільність струму площадки пасивації знижується в 2,8 рази і становить 37 мА/дм². Це вказує на перспективність використання твердого сплаву ВНЖ90 у якості універсального катодно-анодного матеріалу реверсивного електродіалізатору.

Для сплаву Ni-W так само виявлене явище істотної пасивації. На первинній кривій сплаву виявлено два піки розчинення й чітко виражену площадку пасивації. Імовірно, перший пік відповідає більш активній фазі з низьким вмістом W. Це підтверджується відсутністю на повторній анодній кривій першого піка та тотожністю площадок пасивації первинної і повторної кривих. Щільність струму пасивації становить 209 мА/дм². Ці дані так само вказують на можливість і перспективність використання гальванічно нанесеного сплаву Ni-W у якості універсального катодно-анодного матеріалу реверсивного електродіалізатору після оптимізації складу і способу нанесення сплаву та зниження швидкості зношування.

Ключові слова: реверсивний електродіаліз, універсальний електрод, твердий сплав, пасивація, анодне поведінка, вольфрам, нікель.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.238588

РОЗВИТОК МЕХАНІЧНИХ І ВТОМНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ НАНОКОМПОЗИТІВ AA6061/AL₂O₃ ПРИ ТЕМПЕРАТУРІ ПЕРЕМІЩУВАННЯ (ТП) (с. 47–52)

Raad Mohammed Abed, Ali Yousuf Khenyab, Alalkawi Hussain Jasim M.

Алюміній, як очікується, залишатиметься основним матеріалом для багатьох важливих сфер застосування, таких як літаки та автомобілі. Це обумовлено високою стійкістю до різних умов навколишнього середовища, бажаними і керованими механічними властивостями, а також високою втомною міцністю. Алюмінієві наноккомпозити, такі як AA6061/Al₂O₃, можуть бути виготовлені

багатьма способами за допомогою методу рідкої металургії. Основними проблемами цього методу при виробництві нанокомпозитів є труднощі досягнення рівномірного розподілу армуючих матеріалів і можливі хімічні реакції між армуючим матеріалом і матрицею. Для конструкційних застосувань виключно в аерокосмічній галузі. Зростаюча економічно ефективна технологія масового виробництва нанокомпозитів з суттєвою експлуатаційною та геометричною гнучкістю є важливим завданням. Кожен із способів отримання нанокомпозитів AA6061/Al₂O₃ може забезпечувати різні механічні властивості. У цьому дослідженні було отримано дев'ять нанокомпозитів при трьох температурах перемішування (800, 850 і 900 °C) з рівнем додавання Al₂O₃ 0, 5, 7 і 9 мас. %. Результати випробувань на розтяг, твердість і втому показали, що найкращими властивостями володіє композит, що містить 9 мас. % Al₂O₃ при температурі перемішування 850 °C. Також було виявлено, що температура перемішування 850 °C (ТП) з 9 мас. % композиту Al₂O₃ забезпечує збільшення міцності на розрив, VHN і зниження пластичності на 20 %, 16 % і 36,8 % відповідно в порівнянні з нульовим нано. Крім того, втомна довговічність при рівні напруги 90 МПа збільшилася на 17,4 % в порівнянні з 9 мас. % нанокомпозитом при 800 °C (ТП). Рівномірний розподіл спостерігався для всіх дев'яти мікроструктурних композицій.

Ключові слова: алюмінієвий сплав 6061, наночастинки Al₂O₃, нанокомпозити, температури перемішування, метод лиття з перемішуванням, механічні та втомні властивості.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.239114

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ВУГЛЕЦЕВИХ НАНОТРУБОК НА МІКРОСТРУКТУРУ ТА ФУНКЦІОНАЛЬНІ ВЛАСТИВОСТІ ПОЛІМЕРНИХ НАНОКОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ ПОЛІКАРБОНАТУ (с. 53–60)

Е. А. Лисенков, Л. П. Клименко

Полімерні нанокомпозити мають широке застосування у різних високотехнологічних сферах виробництва. Завдяки поєднанню еластичності матриці та міцності неорганічного наповнювача вони мають поліпшені функціональні характеристики порівняно із ненаповненими полімерами. Стаття присвячена визначенню впливу вуглецевих нанотрубок (ВНТ) на мікроструктуру та властивості полімерних нанокомпозитних матеріалів на основі полікарбонату. У результаті проведеної роботи було виготовлено серію композитних матеріалів за допомогою поршневого екструдера. Було досліджено їх мікроструктуру та функціональні характеристики, використовуючи методи оптичної мікроскопії, теплофізичного, електричного та механічного аналізу. Встановлено, що ВНТ формують у полімерній матриці кластери, які утворюють перколяційну сітку при вмісті 0,50,8 %. Така особливість структуроутворення ВНТ забезпечила стрибкоподібне зростання функціональних характеристик отриманих матеріалів. Показано, що зі збільшенням вмісту наповнювача у системі до 3 % теплопровідність стрімко зростає до 1,22 Вт/(м·К). Аналогічний ефект спостерігається і для електропровідності, яка зростає на сім порядків з 10⁻¹² до 10⁻⁵ См/см при 3 % вмісті ВНТ у системі, проявляючи перколяційну поведінку. При введенні ВНТ, майже на 15 % знижується ступінь кристалічності полімерної матриці, завдяки тому, що розвинена поверхня нанотрубок створює стеричні перешкоди для макромолекул полікарбонату. Такий ефект майже нівелює армувальний вплив нанотрубок, тому механічна міцність на розрив при введенні 3 % ВНТ зростає лише на 21 % у порівнянні із ненаповненою матрицею. За своїми функціональними характеристиками отримані матеріали є перспективними для створення на їх основі філаментів для 3D друку.

Ключові слова: полімерні нанокомпозити, вуглецеві нанотрубки, теплопровідність, електропровідність, міцність на розрив, полікарбонат.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.238452

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ НАПОВНЮВАЧА НА ВЛАСТИВОСТІ КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ ПОЛІТЕТРАФТОРЕТИЛЕНУ ДЛЯ ТРИБОСПРЯЖЕНЬ МЕХАНІЗМІВ І МАШИН (с. 61–70)

В. Ю. Дудін, Д. О. Макаренко, О. Д. Деркач, Є. С. Муранов

Проведені комплексні лабораторні дослідження теплофізичних, фізико-механічних характеристик і трибологічних властивостей розроблених композитних матеріалів на основі політетрафторетилену. В конструкціях машин і механізмів значне місце займають трибоспряження з полімерних та полімерно-композитних матеріалів. Саме від надійності рухомих з'єднань в значній мірі залежить надійність машин в цілому. Композитні матеріали неметалевого походження мають невисоку вартість, стійкість до більшості агресивних хімічних речовин, здатність працювати в умовах без змащування. Встановлено, що характеристики та властивості матеріалів необхідно адаптувати до умов роботи окремо взятих трибоспряжень.

Встановлено механізми термодеструкції, як основного матеріалу, так і вуглепластика на його основі. Виявлено, що вуглецеве волокно, незалежно від його вмісту (кількості), в полімерно-композитному матеріалі на основі політетрафторетилену, переважно орієнтуються перпендикулярно до площини прикладання зусилля. Встановлено, що з ростом вмісту вуглецевого волокна від 10 до 40 мас. % теплоємність знижується на 16–39 % у порівнянні з основним матеріалом. Обґрунтовано оптимальні режими експлуатації розроблених композитних матеріалів за фактором рв: у режимі сухого тертя – до 4 МПа·м/с; при терті зі змащенням – до 36,4 МПа·м/с. Встановлено залежність коефіцієнту тертя від режимів експлуатації композитного матеріалу на основі політетрафторетилену, що містить 20 мас. % вуглецевого волокна при змащенні оливою і водою.

Отримані результати дають можливість синтезувати фізико-механічні характеристики та трибологічні властивості композитних матеріалів відповідно до необхідних режимів роботи трибоспряження.

Ключові слова: політетрафторетилен, полімерно-композитний матеріал, вуглецеве волокно, трибоспряження, фізико-механічні характеристики, трибологічні властивості.