

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.289626

**DEVELOPMENT OF BIOPLASTICS FROM TAWARO'S ENVIRONMENTALLY FRIENDLY SAGO STARCH (METROXYLON) (p. 6–16)****Budiawan Sulaeman**Hasanuddin University, Bontomarannu District, Gowa Regency,  
South Sulawesi, IndonesiaORCID: <https://orcid.org/0009-0006-8468-5829>**Nasaruddin Salam**Hasanuddin University, Bontomarannu District, Gowa Regency,  
South Sulawesi, IndonesiaORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4213-531X>**Andi Erwin Eka Putra**Hasanuddin University, Bontomarannu District, Gowa Regency,  
South Sulawesi, IndonesiaORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8678-0877>**Lukmanul Hakim Arma**Hasanuddin University, Bontomarannu District, Gowa Regency,  
South Sulawesi, IndonesiaORCID: <https://orcid.org/0009-0002-2502-4191>

Sustainable bioplastics made from Tawaro sago starch are investigated in the study. This study is motivated by the global need to lessen the environmental impact of petroleum-based polymers and discover greener alternatives. Tawaro sago starch's amylose concentration, moisture levels, and ecologically friendly qualities are examined in the study. It carefully blends sago starch, glycerol, and an acetic acid and water activator solution to create a bioplastic. The study will examine these bioplastics' chemical composition, crystalline structure, mechanical properties, and reactions to UV radiation and microbial development. Researchers and developers are interested in sago starch, a staple meal in Palopo City, South Sulawesi Province, Indonesia, as a sustainable material. Sago starch is advantageous due to its renewable nature and eco-friendly properties. XRD, mechanical characteristics, and microbiological development in sago bioplastic are examined in the study, providing valuable insights. Tawaro sago bioplastic has no heavy metals, according to XRD. The mechanical characteristics have improved significantly, reaching 2,867 N/mm<sup>2</sup>. A 48-hour UV radiation exposure within limitations changed the chemical chain, causing the improvement. Furthermore, bacteria grow swiftly on sago bioplastic. This research promotes sago-based bioplastics as an eco-friendly alternative to traditional plastics, promoting environmental sustainability. This research supports the global drive to create eco-friendly materials. Using Tawaro sago starch, creative solutions for a greener, more sustainable future are possible, with bioplastics offering a compelling alternative to existing plastics and lowering their environmental impact.

**Keywords:** X-ray diffraction, tawaro starch, ultraviolet radiation treatment, mechanical properties.

**References**

- Dirpan, A., Hidayat, S. H., Djalal, M., Ainani, A. F., Yolanda, D. S., Kasmira, Khosuma, M. et al. (2023). Trends over the last 25 years and future research into smart packaging for food: A review. *Future Foods*, 8, 100252. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2023.100252>
- Chowdhury, M. A., Nayem Hossain, Badrudduza, M. D., Rana, Md. M. (2023). Development and characterization of natural sourced bioplastic for food packaging applications. *Heliyon*, 9 (2), e13538. doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13538>
- Sun, X. S. (2013). Overview of Plant Polymers. *Handbook of Biopolymers and Biodegradable Plastics*, 1–10. doi: <https://doi.org/10.1016/b978-1-4557-2834-3.00001-x>
- Soroudi, A., Jakubowicz, I. (2013). Recycling of bioplastics, their blends and biocomposites: A review. *European Polymer Journal*, 49 (10), 2839–2858. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2013.07.025>
- Perez-Puyana, V., Cuartero, P., Jiménez-Rosado, M., Martínez, I., Romero, A. (2022). Physical crosslinking of pea protein-based bioplastics: Effect of heat and UV treatments. *Food Packaging and Shelf Life*, 32, 100836. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2022.100836>
- Altskar, A., Andersson, R., Boldizar, A., Koch, K., Stading, M., Rigdahl, M., Thunwall, M. (2008). Some effects of processing on the molecular structure and morphology of thermoplastic starch. *Carbohydrate Polymers*, 71 (4), 591–597. doi: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2007.07.003>
- Anugrahwidya, R., Armynah, B., Tahir, D. (2021). Bioplastics Starch-Based with Additional Fiber and Nanoparticle: Characteristics and Biodegradation Performance: A Review. *Journal of Polymers and the Environment*, 29 (11), 3459–3476. doi: <https://doi.org/10.1007/s10924-021-02152-z>
- Cai, L., Wang, J., Peng, J., Wu, Z., Tan, X. (2018). Observation of the degradation of three types of plastic pellets exposed to UV irradiation in three different environments. *Science of The Total Environment*, 628-629, 740–747. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.079>
- Souza, A. C., Benze, R., Ferrão, E. S., Ditchfield, C., Coelho, A. C. V., Tadini, C. C. (2012). Cassava starch biodegradable films: Influence of glycerol and clay nanoparticles content on tensile and barrier properties and glass transition temperature. *LWT - Food Science and Technology*, 46 (1), 110–117. doi: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.10.018>
- Mostafa, N. A., Farag, A. A., Abo-dief, H. M., Tayeb, A. M. (2018). Production of biodegradable plastic from agricultural wastes. *Arabian Journal of Chemistry*, 11 (4), 546–553. doi: <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2015.04.008>
- Bidari, R., Abdillah, A. A., Ponce, R. A. B., Charles, A. L. (2023). Characterization of Biodegradable Films Made from Taro Peel (*Colocasia esculenta*) Starch. *Polymers*, 15 (2), 338. doi: <https://doi.org/10.3390/polym15020338>
- Santana, R. F., Bonomo, R. C. F., Gandolfi, O. R. R., Rodrigues, L. B., Santos, L. S., dos Santos Pires, A. C. et al. (2017). Characterization of starch-based bioplastics from jackfruit seed plasticized with glycerol. *Journal of Food Science and Technology*, 55(1), 278–286. doi: <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2936-6>
- Yang, J., Ching, Y. C., Chuah, C. H., Liou, N.-S. (2020). Preparation and Characterization of Starch/Empty Fruit Bunch-Based Bioplastic Composites Reinforced with Epoxidized Oils. *Polymers*, 13 (1), 94. doi: <https://doi.org/10.3390/polym13010094>
- Zuraida, A., Anuar, H., Yusof, Y. (2011). The Study of Biodegradable Thermoplastics Sago Starch. *Key Engineering Materials*, 471-472, 397–402. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.471-472.397>
- Abbas, B., Renwarin, Y., Bintoro, M. H., Sudarsono, S., Surahman, M., Ehara, H. (2010). Genetic diversity of sago palm in Indone-

- sia based on chloroplast DNA (cpDNA) markers. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 11 (3). doi: <https://doi.org/10.13057/biodiv/d110302>
16. Venkateswar Reddy, M., Amulya, K., Rohit, M. V., Sarma, P. N., Venkata Mohan, S. (2014). Valorization of fatty acid waste for bioplastics production using *Bacillus tequilensis*: Integration with dark-fermentative hydrogen production process. *International Journal of Hydrogen Energy*, 39 (14), 7616–7626. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2013.09.157>
  17. Behera, L., Mohanta, M., Thirugnanam, A. (2022). Intensification of yam-starch based biodegradable bioplastic film with bentonite for food packaging application. *Environmental Technology & Innovation*, 25, 102180. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.102180>
  18. Patwary, M. A. S., Surid, S. M., Gafur, M. A. (2020). Properties and Applications of Biodegradable Polymers. *Journal of Research Updates in Polymer Science*, 9, 32–41. doi: <https://doi.org/10.6000/1929-5995.2020.09.03>
  19. Lopez-Gil, A., Silva-Bellucci, F., Velasco, D., Ardanuy, M., Rodriguez-Perez, M. A. (2015). Cellular structure and mechanical properties of starch-based foamed blocks reinforced with natural fibers and produced by microwave heating. *Industrial Crops and Products*, 66, 194–205. doi: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.12.025>
  20. Qamruzzaman, Md., Ahmed, F., Mondal, Md. I. H. (2021). An Overview on Starch-Based Sustainable Hydrogels: Potential Applications and Aspects. *Journal of Polymers and the Environment*, 30 (1), 19–50. doi: <https://doi.org/10.1007/s10924-021-02180-9>
  21. Ratnawati, R., Widyastuti, S., Utomo, Y., Evawati, D. (2023). Addition of Anadara Granosa Shell Chitosan in Production Bioplastics. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and Environmental Management)*, 13 (2), 175–185. doi: <https://doi.org/10.29244/jpsl.13.2.175-185>
  22. Eby, G. A., Eby, K. L. (2010). Magnesium for treatment-resistant depression: A review and hypothesis. *Medical Hypotheses*, 74 (4), 649–660. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mehy.2009.10.051>
  23. Springle, N., Li, B., Soma, T., Shulman, T. (2022). The complex role of single-use compostable bioplastic food packaging and foodservice ware in a circular economy: Findings from a social innovation lab. *Sustainable Production and Consumption*, 33, 664–673. doi: <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.08.006>
  24. Bishop, G., Styles, D., Lens, P. N. L. (2021). Environmental performance of bioplastic packaging on fresh food produce: A consequential life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, 317, 128377. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128377>
  25. Burleigh, T. D., Ruhe, C., Forsyth, J. (2003). Photo-Corrosion of Different Metals during Long-Term Exposure to Ultraviolet Light. *Corrosion*, 59 (9), 774–779. doi: <https://doi.org/10.5006/1.3277606>
  26. Havstad, M. R. (2020). Biodegradable plastics. *Plastic Waste and Recycling*, 97–129. doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-817880-5.00005-0>
  27. Abang, S., Wong, F., Sarbatly, R., Sariau, J., Bains, R., Besar, N. A. (2023). Bioplastic classifications and innovations in antibacterial, antifungal, and antioxidant applications. *Journal of Bioresources and Bioproducts*. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jobab.2023.06.005>
  28. Jones, A., Mandal, A., Sharma, S. (2017). Antibacterial and Drug Elution Performance of Thermoplastic Blends. *Journal of Polymers and the Environment*, 26 (1), 132–144. doi: <https://doi.org/10.1007/s10924-016-0924-y>
  29. Pal, M. K., Lavanya, M. (2022). Microbial Influenced Corrosion: Understanding Bioadhesion and Biofilm Formation. *Journal of Bio- and Tribo-Corrosion*, 8 (3). doi: <https://doi.org/10.1007/s40735-022-00677-x>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.288506

**IDENTIFYING THE FEATURES OF STRUCTURAL AND PHASE TRANSFORMATIONS DURING THE PROCESSING OF OXIDE WASTE FROM THE PRODUCTION OF HIGH-SPEED STEEL (p. 17–22)**

**Vadym Volokh**

Volodymyr Dahl East Ukrainian National University,  
Kyiv, Ukraine

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

**Anatolii Poliakov**

Volodymyr Dahl East Ukrainian National University,  
Kyiv, Ukraine

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

**Victor Rebenko**

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

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

**Andrey Andreev**

Zaporizhzhia National University,  
Zaporizhzhia, Ukraine

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

**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>

**Viacheslav Kurlov**

Volodymyr Dahl East Ukrainian National University,  
Kyiv, Ukraine

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

**Yevhen Chaplyhin**

Volodymyr Dahl East Ukrainian National University,  
Kyiv, Ukraine

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

**Nataliya Vlasenko**

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

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0916-0898>

**Dmytro Ivanchenko**

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

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

Peculiarities of phase and structural transformations during the carbon-thermal recovery of high-speed steel slag with the production of an alloying additive were investigated. This is necessary to determine the technological indicators that allow reducing the loss of high-value elements during the production and use of the alloying additive. A gradual change in the degree of scale reduction from 32 % to 69 % and 77 % led to an increase in the appearance of the solid solution of alloying elements and carbon in the  $\alpha$ -Fe lattice with respect to  $\text{FeWO}_4$  and  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Along with this,  $\text{Fe}_3\text{C}$ ,  $\text{FeW}_3\text{C}$ , WC, VC,  $\text{V}_2\text{C}$ , and  $\text{Cr}_3\text{C}_2$  were manifested. At the same time, the formation of polyhedral and rounded particles of different chemical composition and the formation of a spongy microstructure was observed. It was determined that the most ac-

ceptable degree of recovery is 77 %. At the same time, the degree of reduction of 69 % is also sufficient since due to the residual carbon in the form of carbides, an increased reduction capacity is ensured with additional reduction of the oxide component in the liquid metal during alloying. The spongy microstructure provides relatively fast dissolution compared to standard ferroalloys, which causes a reduction in the total melting time while reducing the resources spent. No phases and compounds characterized by an increased tendency to sublimation were detected in the obtained alloying additive. That is, there is no need to provide additional conditions that prevent the loss of high-value elements during evaporation with the gas phase, which causes an increase in the degree of extraction of alloying elements. The indicators of the obtained alloying additive make it possible to melt alloyed steel in an electric arc furnace with respect to brands whose composition does not have strict restrictions on carbon, while replacing a part of standard ferroalloys.

**Keywords:** carbon thermal recovery, slag of high-speed steels, oxide man-made waste, structural-phase transformations.

### References

- Petryshchev, A., Milko, D., Borysov, V., Tsybmal, B., Hevko, I., Borysova, S., Semenchuk, A. (2019). Studying the physical-chemical transformations at resourcesaving reduction melting of chrome-nickel-containing metallurgical waste. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (12 (98)), 59–64. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.160755>
- 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. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/269463295\\_Preparation\\_of\\_iron\\_Powders\\_by\\_Reduction\\_of\\_Rolling\\_Mill\\_Scale\\_International\\_Journal\\_of\\_Scientific\\_Engineering\\_Research\\_Volume\\_4\\_Issue\\_5\\_May-20131457-1472](https://www.researchgate.net/publication/269463295_Preparation_of_iron_Powders_by_Reduction_of_Rolling_Mill_Scale_International_Journal_of_Scientific_Engineering_Research_Volume_4_Issue_5_May-20131457-1472)
- Grigor'ev, S. M., Petrishchev, A. S. (2012). Assessing the phase and structural features of the scale on P6M5Φ3 and P12M3K5Φ2 steel. *Steel in Translation*, 42 (3), 272–275. doi: <https://doi.org/10.3103/s0967091212030059>
- Hryhoriev, S., Petryshchev, A., Shyshkanova, G., Zaytseva, T., Frydman, O., Krupey, K. et al. (2018). A study of environmentally friendly recycling of technogenic chromium and nickel containing waste by the method of solid phase extraction. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (10 (91)), 44–49. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.121615>
- Hryhoriev, S., Petryshchev, A., Belokon', K., Krupey, K., Yamshinskij, M., Fedorov, G. et al. (2018). Determining the physical-chemical characteristics of the carbon-thermal reduction of scale of tungsten high-speed steels. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (6 (92)), 10–15. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.125988>
- Zhu, H., Li, Z., Yang, H., Luo, L. (2013). Carbothermic Reduction of MoO<sub>3</sub> 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)
- Grigor'ev, S. M., Petrishchev, A. S. (2015). Refining metallized molybdenum concentrate by means of a low-temperature plasma-forming mixture. *Steel in Translation*, 45 (12), 954–958. doi: <https://doi.org/10.3103/s0967091215120049>
- 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.jirmhm.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>
- Chen, S. Y., Chu, M. S. (2014). A new process for the recovery of iron, vanadium, and titanium from vanadium titanomagnetite. *The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 114, 481–487. Available at: <https://www.saimm.co.za/Journal/v114n06p481.pdf>
- 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)

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.287043

### IDENTIFYING REGULARITIES OF THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF 13XFA PIPE STEEL SMELTED ON DIFFERENT CHARGES IN ELECTRIC ARC FURNACE (p. 23–31)

**Arif Mammadov**

Azerbaijan Technical University,  
Baku, Azerbaijan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1075-8240>

**Agil Babaev**

Azerbaijan Technical University,  
Baku, Azerbaijan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5391-7881>

**Nizami Ismailov**

Azerbaijan Technical University,  
Baku, Azerbaijan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2587-3214>

**Mukhtar Huseinov**

Azerbaijan Technical University,  
Baku, Azerbaijan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8770-7006>

**Faiq Guliyev**

Azerbaijan Technical University,  
Baku, Azerbaijan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0414-2626>

The problem of increasing the efficiency of 13XFA pipe steel for oil and gas wells by using selective selection of charges for smelting them in an electric arc furnace is considered. 4 batches of different chemical heterogeneity were studied. It was found that melt 1 from a purer charge 1 contains a smaller amount of harmful impurities in the form of surface-active substances (surfactants), which affect grain growth when samples are heated for quenching. Thus, melts 1 and 2, containing a smaller amount of surfactants in the charge, have a greater tendency to austenite grain growth and lower hardenability

compared to melts 3 and 4, the charge of which is relatively heavily contaminated with surfactants. This is due to the low relatively free energy of melts 3 and 4. The study showed that at a relatively low tempering temperature (300 °C) there was an insignificant change in the mechanical properties of the samples ( $R_m$ , KC, etc.). Hydrogenation of steels significantly reduces the strength of steels from all melts, however, an increase in tempering time leads to an increase in long-term strength. In this case, the maximum impact strength (KC) of all melts is observed after normalization, but samples from melt 1 have a higher IC. When the samples were held (570 °C), the near-boundary layers of steel grains were enriched with P, Sb, Sn, As, leading to embrittlement and weakening of intergrain cohesion and a decrease in the energy of boundaries. In the process of testing at –80 °C, cracks along the grain boundaries are visible on the fractures of the samples after brittle tempering. By increasing the purity of metal waste for smelting pipe steel, it is possible to improve the complex of its properties, and hence the durability of seamless pipes for the oil and gas industry produced from it.

**Keywords:** selection of metal waste, pipe steel, heat treatment, temper brittleness, cold resistance, oil and gas industry.

### References

- Raxmanov, S. R., Mamedov, A. T., Bepalko, B. N., Topolov, V. A., Azimov, A. A. (2017). *Maşinostroitelniye materialy*. Baku: «Sabax», 410.
- Qoldenşteyn, M. İ., Qrachov, S. V., Veksler, Yu. B. (1999). *Specialniye stali*. Moscow: MİSİS, 408.
- Kərimov, R. İ., Quliyev, F. T. (2017). Baku Steel Company MMC-də elektroqövş sobasında isti briketlənməmiş (HBI) yuvarlar istifadə etməklə əritmə intensivliyinin artırılması və prosesin təhlili. *Metallurgiya və materialşünaslığın problemləri. Mövzusunda 2-ci Beynəlxalq elmi-texniki konfransın materialları*. Bakı, 39–41.
- Kerimov, R. I. oglu. (2019). Improving steel melting intensity in the process of electrosmelting from waste and pellets (HBI). *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (1 (99)), 35–42. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.168352>
- Chubukov, M. Yu. (2019). *İssledovanie staley s razlichnymi variantami ximicheskogo sostava, obespechivayushimi povisheniye kachestva nepriyemlivo zaqotovok dlya nefteqazoprovodnix trub*. Volqograd, 153.
- Kərimov, R. İ. (2021). Elektroəritmə və fasiləsiz tökmə polad pəstahların resurslara qənaətli texnologiyasının nəzəri əsaslandırılması və tətbiqi. Bakı, 304.
- Yakovleva, İ. L., Tereshenko, N. A., Urtsev, N. V. (2020). Nablyudenie martensitno-austenitnoy sostavlyayushyey v structure nizkoulqerodistoy i nizkolegirovannoy trubnoy stali. *Fizika metallor i metallovedenie*, 121 (4), 396–402. doi: <https://doi.org/10.31857/s0015323020040178>
- Mekerov, S. K., Kincharov, A. İ., Stepanov, P. P., Saxnevich, A. N. (2019). Opit ecspluatachii trubnoy stali novoqo pokoleniya v usloviyax volqo-uralskiy nefteqazonosniy provintsii. *İnjenernaya praktika*, 10, 152–163.
- Zavalishin, A. N., Romyantsev, M. I., Kojevnikova, E. V. (2023). Effect of quenching and tempering on the structure and properties of hot-rolled tube steels of strength categories K60 and K65. *MiTOM*, 1, 13–18. doi: <https://doi.org/10.30906/mitom.2023.1.13-18>
- Putilova, E. A. (2018). Study of the main features of the structure, physical and mechanical properties of the tube steel of durability class P110. *Mejdunarodniy nauchno-issledovatel'skiy jurnal*, 12 (78), 128–132. doi: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.78.12.022>
- Şərifov, Z. Z. (2014). *Materialşünaslıq və materiallar texnologiyası*. Bakı: ADDA, 660.
- Laxtin, Yu. M., Leonteva, V. P. (1990). *Materialovedeniye*. Uchebnik dlya vishix texnicheskix uchebnix zavedeniy. Moscow: Mashinostroyeniye, 528.
- Kuzin, O. A., Yachyuk, R. A. (2002). *Metaloznavstvo ta termichna obrobka metaliv*. Lviv: Afisha, 30.
- Solnsev, Yu. P., Paryaxin, E. İ. (2020). *Materialovedeniye*. Sankt-Peterburg, 784.
- Taran, Yu. N., Tubenko, S. İ., Bolshakov, V. İ. et al. (2001). *Noviye materialy*. Dnepropetrovsk, 54.
- Velychko, O. H., Stoianov, O. M., Boichenko, B. M., Niyazev, K. H. (2016). *Tekhnolohiyi pidvyshcheniya yakosti stali*. Dnepropetrovsk: Seredniak T.K, 196.
- Velichko, A. T., Raxmanov, S. R., Babnli, M. B., Mamedov, A. T., Bayramov, A. T. (2021). *Vnepechnaya obrabotka pri proizvodstve visokokachestvennix staley*. Baku, 467.
- Velichko, A. Q. (2005). *Vnepechnaya obrabotka stali*. Dnepropetrovsk, 199.
- Misnev, P. A., Adigamov, R. A., Baraboshkin, K. A., Varkhaleva, T. S., Fedotov, E. S., Karlina, A. I. (2022). Mathematical models for prediction of korrozion resistance of pipe steel grades in CO<sub>2</sub> environment. *Ferrous Metallurgy. Bulletin of Scientific, Technical and Economic information*, 78 (7), 611–619.
- Serqeev, A. N., Serqeev, N. N., Aqeev, V. S. (2022). *Vodorodnoe oxrupchivanie i rastreskivanie visokoprochnoy armaturnoy stali 20XГC2*. Litovskaya respublika, 158.
- Astafjev, V. I., Artamoshkin, S. V., Tetjueva, T. V. (1993). Influence of microstructure and non-metallic inclusions on sulphide stress corrosion cracking in low-alloy steels. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 55 (2), 243–250. doi: [https://doi.org/10.1016/0308-0161\(93\)90032-o](https://doi.org/10.1016/0308-0161(93)90032-o)
- Botvina, L. R., Tetyueva, T. V., İoffe, A. V. (1998). *Stadiynost mnojestvennoqo razrusheniya nizkolegirovannix staley v srede serodoroda*. *Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallor*, 2, 14–22.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.288340

DESIGNING BRAZING FILLER METAL FOR HEAT-RESISTANT NICKEL ALLOYS OF NEW GENERATION MARINE GAS TURBINES (p. 32–46)

**Viktor Kvasnytskyi**

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

**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>

**Viacheslav Kvasnytskyi**

Admiral Makarov National University of Shipbuilding,  
Mykolaiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6698-7790>

**Maksym Matvienko**

Kherson Educational-Scientific Institute  
of Admiral Makarov National University of Shipbuilding,  
Kherson, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1020-0415>

**Yevhen Buturlia**

Admiral Makarov National University of Shipbuilding,  
Mykolaiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2604-5664>

Ivan Lahodzinskyi

National Technical University of Ukraine  
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7986-9440>

The object of research is the processes of the formation of brazed joints and the stressed state. The subject of research is structure, chemical composition, long-term high-temperature strength at a temperature of 900 °C, speed of high-temperature salt corrosion. Existing brazing filler metals have a high-temperature performance of 40–50 % of the performance of the SM93-VI and SM96-VI alloys. Despite this, brazing is the main technique of joining modern heat-resistant cast alloys. Therefore, the development of new brazing filler metals that ensure the formation of joints with increased long-term high-temperature strength is relevant. Ship gas turbine blades operate at a temperature of 900 °C. The purpose of the development of the new SBM-4 brazing filler metal is to achieve long-term high-temperature strength of brazed joints at a temperature of 900 °C at the level of 85–90 % of the strength of heat-resistant alloys SM93-VI and SM96-VI.

A two-stage method was used in the development of SBM-4 brazing filler metal. At the first stage, the chemical composition of the brazing filler metal base was determined, taking into account the peculiarities of operating conditions of the blades of marine gas turbine engines and the achievements of materials science of heat-resistant alloys. At the second stage, the depressant and its necessary content were selected. Computer software was used to determine the distribution between the  $\gamma$ - and  $\gamma'$ -phases, taking into account the participation of each element in both dispersion and solid-solution strengthening. Rational limits of concentrations of alloying elements were determined. The criterion was the minimum susceptibility of brazing filler metal to the formation of brittle phases, taking into account the influence of chromium, rhenium, and tantalum concentrations on resistance to high-temperature salt corrosion and high-temperature performance. The long-term strength of SM93-VI and CM96-VI alloys brazed with SBM-4 brazing filler metal is 89–91 % of the strength of the base metal. Technologies of brazing and correction of casting defects have been introduced into production.

**Keywords:** brazed joints, stressed state, high-temperature salt corrosion, long-term strength.

## References

- Yushchenko, K. A., Savchenko, V. S., Chervyakov, N. O., Zvyagintseva, A. V., Velikoivanenko, E. A. (2016). Multi-scale Modeling of the Stress-Strain State During Welding of Ni-Based Alloys. Cracking Phenomena in Welds IV, 289–303. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-28434-7\\_14](https://doi.org/10.1007/978-3-319-28434-7_14)
- Jung, D. H., Sharma, A., Mayer, M., Jung, J. P. (2018). A Review on Recent Advances in Transient Liquid Phase (TLP) Bonding for Thermoelectric Power Module. Reviews on Advanced Materials Science, 53 (2), 147–160. doi: <https://doi.org/10.1515/rams-2018-0011>
- Kvasnytskyi, V., Korzyh, V., Kvasnytskyi, V., Mialnitsa, H., Dong, C., Pryadko, T. et al. (2020). Designing brazing filler metal for heat-resistant alloys based on Ni<sub>3</sub>Al intermetallide. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6 (12 (108)), 6–19. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.217819>
- Makhnenko, V. I., Kvasnitsky, V. V., Ermolaev, G. V. (2008). Stress-Strain State Of Diffusion Bonds Between Metals With Different Physical-Mechanical Properties. The Paton Welding Journal, 8, 2–6. Available at: <https://patonpublishinghouse.com/tpwj/pdf/2008/tpwj200808all.pdf>
- Makhnenko, V. I., Kvasnitsky, V. V. (2009). Stress-strain state of assemblies of the cylindrical shape in diffusion bonding. The Paton Welding Journal, 2, 2–7. Available at: <https://patonpublishinghouse.com/eng/journals/tpwj/2009/02/01>
- Kopel'man, L. A. (2010). Osnovy teorii prochnosti svarnykh konstruktiv. Sankt-Peterburg: izd. «Lan'», 464.
- Parfenov, A. N. (2008). Vvedenie v teoriyu prochnosti payanykh soedineniy. Tekhnologii v elektronnoy promyshlennosti, 2, 46–52. Available at: <https://pselectro.ru/file-storage/1604046402-2008-02-46.pdf>
- Ermolaev, G. V., Martynenko, V. A., Olekseenko, S. V., Labartkava, A. V., Matvienko, M. V. (2017). Effect of the Rigid Interlayer Thickness on the Stress-Strain State of Metal-Graphite Assemblies Under Thermal Loading. Strength of Materials, 49 (3), 422–428. doi: <https://doi.org/10.1007/s11223-017-9882-4>
- Cai, X., Gao, Y., Wang, X., Zhang, W., Liu, W., Shen, X. et al. (2020). Triaxial Constraint and Tensile Strength Enhancement in Brazed Joints. Metallurgical and Materials Transactions A, 51 (11), 5587–5596. doi: <https://doi.org/10.1007/s11661-020-05984-x>
- Riggs, B. E. (2017). Multi-scale computational modeling of Ni-base superalloy brazed joints for gas turbine applications. Ohio State University, 262. Available at: [https://etd.ohiolink.edu/acprod/odb\\_etd/etd/r/1501/10?clear=10&p10\\_accession\\_num=osu1492631613686228](https://etd.ohiolink.edu/acprod/odb_etd/etd/r/1501/10?clear=10&p10_accession_num=osu1492631613686228)
- Kvasnytskyi, V. V., Matvienko, M. V., Buturlia, Y. A. (2020). Influence of properties of the interlayer solder on the stress-strain state of brazed nodes from heat-resistant alloys. Collection of Scientific Publications NUS, 4, 119–128. doi: [https://doi.org/10.15589/znp2020.4\(482\).14](https://doi.org/10.15589/znp2020.4(482).14)
- Malashenko, I. S., Mazurak, V. E., Kushnareva, T. N., Kurenkova, V. V., Zavidonov, V. G., Yavdoschina, E. F. (2014). Payka v vakuume litogo nikelovogo splava ZhS6U kompozitsionnymi priyomami na osnove VPr-36. Chast' 1. Sovremennaya elektrometalurgiya, 4, 49–58. Available at: <https://patonpublishinghouse.com/sem/pdf/2014/pdfarticles/04/9.pdf>
- Fridman, Ya. B. (1974). Mekhanicheskie svoystva metallov. Ch. 1. Deformatsiya i razrushenie. Moscow: Mashinostroenie, 472.
- Yue, X., Liu, F., Chen, H., Wan, D., Qin, H. (2018). Effect of Bonding Temperature on Microstructure Evolution during TLP Bonding of a Ni<sub>3</sub>Al based Superalloy IC10. MATEC Web of Conferences, 206, 03004. doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201820603004>
- Verkhuliuk, A. N., Maksiuta, I. I., Kvasnytska, Yu. H., Mialnytsia, H. P., Mykhnian, O. V. (2016). Fazovo-strukturna stabilnist zharomitsnoho korozivnostiykoho splavu dlia lytykh robochykh lopatok HTU. Metaloznavstvo ta obrobka metaliv, 3, 3–9.
- Kvasnytska, Yu. H., Ivaskevych, L. M., Balytskyi, O. I., Maksyuta, I. I., Myal'nitsa, H. P. (2020). High-Temperature Salt Corrosion of a Heat-Resistant Nickel Alloy. Materials Science, 56 (3), 432–440. doi: <https://doi.org/10.1007/s11003-020-00447-5>
- Yermolaiev, H. V., Kvasnytskyi, V. V., Kvasnytskyi, V. F. (2015). Paiannia materialiv. Mykolaiv: NUK, 340. Available at: [https://www.researchgate.net/profile/Gennadii-Yermolaiev/publication/321796483\\_PAANNA\\_MATERIALIV/links/5a3237c3458515afb65d8e2c/PAANNA-MATERIALIV.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Gennadii-Yermolaiev/publication/321796483_PAANNA_MATERIALIV/links/5a3237c3458515afb65d8e2c/PAANNA-MATERIALIV.pdf)
- Maksymova, S. V., Voronov, V. V., Kovalchuk, P. V., Zvolinsky, I. V. (2023). Influence of Alloying Elements on Heat Resistance of Ni-Based Fillers and Brazed Joints. Materials Science, 58 (5), 643–648. doi: <https://doi.org/10.1007/s11003-023-00711-4>
- Balyts'kyi, A. I., Kvasnyts'ka, Yu. H., Ivas'kevich, L. M., Myal'nitsa, H. P. (2018). Corrosion- and Hydrogen-Resistance of Heat-Resistant Blade Nickel-Cobalt Alloys. Materials Science, 54 (2), 230–239. doi: <https://doi.org/10.1007/s11003-018-0178-z>

20. Ivas'kevych, L. M. (2020). Influence of Alloying with Cobalt and Hafnium on the Corrosion and Hydrogen Resistances of Refractory Nickel Alloy. *Materials Science*, 55 (5), 730–736. doi: <https://doi.org/10.1007/s11003-020-00365-6>
21. Glotka, O. A., Olshanetskii, V. Yu. (2023). Mathematical Prediction of the Properties of Heat-Resistant Nickel Alloys After Directional Crystallization. *Materials Science*, 58 (5), 679–685. doi: <https://doi.org/10.1007/s11003-023-00716-z>
22. Maksymova, S. V., Voronov, V. V., Kovalchuk, P. V. (2021). Mathematical modeling of melting temperature range and phase composition of multicomponent nickel alloys. *The Paton Welding Journal*, 2021 (10), 28–32. doi: <https://doi.org/10.37434/tpwj2021.10.04>
23. Musina, O. N. (2015). *Planirovanie i postanovka nauchnogo eksperimenta*. Moscow; Berlin: Direkt-Media, 89. doi: <https://doi.org/10.23681/274057>
24. Kvasnytskyi, V. V., Mialnitsa, H. P., Kvasnytskyi, V. F., Malyi, O. B., Samokhin, S. M., Buturlia, Ye. A., Matviienko, M. V. (2020). Pat. No. 127057 UA. Prypiy dlia paiannia zharomitsnykh nikelovykh splaviv morskykh hazovykh turbin. declared: 21.07.2020; published: 29.03.2023, Bul. No. 13/2023. Available at: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1728602/>
25. Depiver, J., Mallik, S., Harmanto, D. (2020). Solder joint failures under thermo-mechanical loading conditions – A review. *Advances in Materials and Processing Technologies*, 7 (1), 1–26. doi: <https://doi.org/10.1080/2374068x.2020.1751514>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.287679

#### DETERMINING THE TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF ELECTRON-BEAM WELDING OF HIGH-STRENGTH TITANIUM ALLOYS (p. 47–53)

**Oleksii Fedosov**

Oles Honchar Dnipro National University,  
Dnipro, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6269-5288>

**Olena Karpovych**

Oles Honchar Dnipro National University,  
Dnipro, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0677-5822>

It is usually quite difficult to carry out deep penetration of thick-walled products from titanium alloys using conventional welding technologies. In this study, it was proposed to use electron beam welding under high vacuum conditions for the realization of 40 mm thick melting of VT23, VT3-1 alloys.

This paper considers the possibility of obtaining high-quality welded joints from high-strength titanium alloys having ( $\alpha+\beta$ ) two-phase structures. For the implementation of research works, samples were made from selected materials, samples were welded according to the specified modes, metallographic analysis was performed, and the level of mechanical properties was determined. The research results were verified under laboratory conditions.

The technological features of the processes of electron-beam welding of products with a thickness of 40 mm were considered; the parameters affecting the weldability of titanium alloys and their structure were determined. The welded samples were checked by X-ray non-destructive testing, the microstructure of the welds was studied, and the physical and mechanical properties of the welded joints were checked. It was established that a feature of titanium alloys VT3-1, VT23 is the need for heat treatment after welding under the base metal regimes to improve the characteristics of the welded joint. The resulting strength limit of the alloys after heat treatment

reached values of 1250 MPa and more, while the impact toughness was at the level of 48–50 J·cm<sup>-2</sup>.

Modeling the welding process has made it possible to ensure the reproducibility of the characteristics of the welded joint at a level close to that of the base metal, to increase the quality indicators of welded joints, and to reduce the time required to test the technology. The studies of simulator samples showed compliance of the quality of welded joints with the predefined parameters.

**Keywords:** high-strength titanium alloys, electron beam welding, technological parameters, macrostructure.

#### References

1. Fedosov, A. V., Karpovych, E. V. (2015). Advanced aspects of electron-beam welding for high-strength titanium alloys. *Aviatsionno-kosmicheskaya tekhnika i tekhnologiya*, 1 (118), 16–22. Available at: <http://195.88.72.95:57772/csp/nauchportal/Arhiv/AKTT/2015/AKTT115/Fedosov.pdf>
2. Pasang, T., Amaya, J. M. S., Tao, Y., Amaya-Vazquez, M. R., Botana, F. J., Sabol, J. C. et al. (2013). Comparison of Ti-5Al-5V-5Mo-3Cr Welds Performed by Laser Beam, Electron Beam and Gas Tungsten Arc Welding. *Procedia Engineering*, 63, 397–404. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.08.202>
3. Li, F. S., Wu, L. H., Zhao, H. B., Xue, P., Ni, D. R., Xiao, B. L., Ma, Z. Y. (2023). Realizing deep penetration and superior mechanical properties in a titanium alloy thick plate joint via vacuum laser beam welding. *Journal of Materials Research and Technology*, 26, 2254–2264. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.08.059>
4. Wanjara, P., Watanabe, K., de Formanoir, C., Yang, Q., Bescond, C., Godet, S. et al. (2019). Titanium Alloy Repair with Wire-Feed Electron Beam Additive Manufacturing Technology. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2019, 1–23. doi: <https://doi.org/10.1155/2019/3979471>
5. Gudenko, A. V., Sliva, A. P. (2018). Influence of electron beam oscillation parameters on the formation of details by electron beam metal wire deposition method. *Journal of Physics: Conference Series*, 1109, 012037. doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1109/1/012037>
6. Kabasakaloglu, T. S., Erdogan, M. (2020). Characterisation of figure-eight shaped oscillation laser welding behaviour of 5083 aluminium alloy. *Science and Technology of Welding and Joining*, 25 (7), 609–616. doi: <https://doi.org/10.1080/13621718.2020.1794652>
7. Fedosov, A. V., Karpovich, E. V. (2017). Comparative mechanical and metallographic investigations of welded compounds with high-strength titanium alloys obtained by method of TIG and EBW. *Aviatsionno-kosmicheskaya tekhnika i tekhnologiya*, 4 (139), 50–56. Available at: <http://nti.khai.edu/ojs/index.php/aktt/article/download/511/561>
8. Yang, J., Li, Y., Zhang, H. (2016). Microstructure and mechanical properties of pulsed laser welded Al/steel dissimilar joint. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 26 (4), 994–1002. doi: [https://doi.org/10.1016/s1003-6326\(16\)64196-1](https://doi.org/10.1016/s1003-6326(16)64196-1)
9. Lu, W., Lei, Y. P., Li, X. Y., Shi, Y. W. (2012). Effect of electron beam welding on fracture behaviour of thick TC4-DT alloy. *Science and Technology of Welding and Joining*, 17 (4), 277–281. doi: <https://doi.org/10.1179/1362171812y.0000000004>
10. Lu, W., Shi, Y., Li, X., Lei, Y. (2013). Fracture assessment for electron beam welded damage tolerant Ti-6Al-4V alloy by the FITNET procedure. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 26 (5), 1013–1021. doi: <https://doi.org/10.3901/cjme.2013.05.1013>
11. Zhao, X., Lu, X., Wang, K., He, F. (2023). Microstructure and mechanical properties of electron beam welded TC4 titanium alloy

- structure with backing plate. *Materials Today Communications*, 35, 106160. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2023.106160>
12. Irisarri, A. M., Barreda, J. L., Azpiroz, X. (2009). Influence of the filler metal on the properties of Ti-6Al-4V electron beam weldments. Part I: Welding procedures and microstructural characterization. *Vacuum*, 84 (3), 393–399. doi: <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2009.08.003>
  13. Gao, F., Gao, Q., Jiang, P., Liu, Z., Liao, Z. (2018). Microstructure and mechanical properties of Ti6321 alloy welded joint by EBW. *International Journal of Lightweight Materials and Manufacture*, 1 (4), 265–269. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijlmm.2018.08.006>
  14. Zhang, H. T., Zhao, H. Y., He, W. X. (2010). Microstructure and fracture behaviour of Ti<sub>3</sub>Al/TC<sub>4</sub> dissimilar materials joints welded by electron beam. *Bulletin of Materials Science*, 33 (6), 707–711. doi: <https://doi.org/10.1007/s12034-011-0148-7>
  15. Moschinger, M., Mittermayr, F., Enzinger, N. (2022). Influence of Beam Figure on Porosity of Electron Beam Welded Thin-Walled Aluminum Plates. *Materials*, 15 (10), 3519. doi: <https://doi.org/10.3390/ma15103519>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.288450

**DETERMINING THE PATTERN OF DIRECTION AND DISTRIBUTION OF INTERMETALLIC PHASE IN THE EUTECTIC OF THE WELD MATERIAL AFTER ELECTRON-BEAM WELDING OF TITANIUM AND NIOBIUM ALLOYS (p. 54–62)**

**Petro Loboda**

National Technical University of Ukraine  
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3373-3289>

**Anastasiia Zvorykina**

National Technical University of Ukraine  
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4635-5742>

**Eduard Vrzhyzhevskiy**

E. O. Paton Electric Welding Institute  
of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8651-8510>

**Tatjana Taranova**

E. O. Paton Electric Welding Institute  
of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4723-9866>

**Valery Kostin**

E. O. Paton Electric Welding Institute  
of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2677-4667>

**Volodymyr Zvorykin**

LLC Kharkiv Transport Equipment Plant,  
Kharkiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2617-7731>

**Leonid Zvorykin**

LLC TECHNOL, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6951-6564>

This paper reports a study whose object was material of the weld. The nature of changes in the microstructure of the weld material, which are caused by changes in the supplied energy, alloying elements and heat removal from the melt area, was investigated. Welding was performed with an electron beam at  $U_{acc}=60$  kV,  $I_{eb}=90$  mA, with an elliptical sweep of  $3\times 4$  mm. The speed of electron beam

movement  $v_{eb}$  was varied from 7 to 15 mm·s<sup>-1</sup>. The temperature of the experimental welded samples  $T_0$  was varied from 300 K to 673 K. Ti-TiB alloy (a microcomposite alloy with reinforcing TiB fibers) was welded with Ti-TiB alloys, T110, and with niobium. One of the tasks of welding this alloy was to preserve and optimize the structure of this type in the weld. Grinding of boride fibers, loss of their initial orientation, and formation of a dendritic or cellular microstructure was observed in the weld.

Using the methods of raster electron microscopy and micro-X-ray spectral analysis, the microstructure of the weld material was investigated and the dimensional characteristics of TiB fibers under different welding conditions were determined. The analysis of changes in the microstructure of the weld material, the average length  $a$  and the thickness  $\epsilon$  of the boride fibers in the material of the joints made at different velocities of electron beam movement and initial temperatures  $T_0$  was carried out. It was established that the growth of the ratio  $\epsilon/a$  from 0.04–0.07 to 0.1–0.27 is accompanied by significant changes in the microstructure and the mechanism of formation of eutectic phases.

It is shown that the process that determines the formation of the microstructure of the weld material was the eutectic breakdown with the determining influence of the temperature gradient, crystallization rate, supercooling, concentration inhomogeneities, and alloying impurities.

**Keywords:** electron beam welding, microcomposite alloy, eutectic decay, fiber size, weld.

**References**

1. Tikhonovskiy, M. A. (2004). Issledovanie napravlennykh fazovykh prevrascheniy i razrabotka mikrokompozitnykh materialov v NNTs KhFTI. *Voprosy atomnoy nauki i tekhniki*, 6, 115–127. Available at: [https://vant.kipt.kharkov.ua/ARTICLE/VANT\\_2004\\_6/article\\_2004\\_6\\_115.pdf](https://vant.kipt.kharkov.ua/ARTICLE/VANT_2004_6/article_2004_6_115.pdf)
2. Qi, J., Cheung, A. M., Poon, S. J. (2019). High Entropy Alloys Mined From Binary Phase Diagrams. *Scientific Reports*, 9 (1). doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-50015-4>
3. Andrievskaya, N. F., Kapcherin, A. S., Tikhonovskiy, M. A. (1980). *Morfologicheskie perekhody v evtecticheskikh kompozitakh. Fizika prochnosti kompozitsionnykh materialov*. Leningrad: Izd-vo LFTI, 42–44.
4. Gaisin, R. A., Imayev, V. M., Imayev, R. M. (2017). Effect of hot forging on microstructure and mechanical properties of near  $\alpha$  titanium alloy/TiB composites produced by casting. *Journal of Alloys and Compounds*, 723, 385–394. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2017.06.287>
5. Grigorenko, G. M., Akhonin, S. V., Loboda, P. I., Grigorenko, S. G., Severin, A. Yu., Berezos, V. A., Bogomol, Yu. I. (2016). Structure And Properties Of Titanium Alloy, Alloyed With Boron, Produced By The Method Of Electron Beam Remelting. *Electrometallurgy Today*, 1, 21–25. doi: <https://doi.org/10.15407/sem2016.01.03>
6. Gaisin, R. A., Imayev, V. M., Imayev, R. M. (2018). Microstructure and Mechanical Properties of a Near- $\alpha$ -Titanium-Alloy/TiB Composite Prepared in situ by Casting and Subjected to Deformation and Heat Treatment. *Physics of Metals and Metallography*, 119 (9), 907–916. doi: <https://doi.org/10.1134/s0031918x18090041>
7. Bondarenko, Yu. A., Kablov, E. N. (2002). *Napravlenyya kristallizatsiya zharoprochnykh splavov s povyshennym temperaturnym gradientom. Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov*, 7, 20–23.
8. Kablov, E. N., Lukin, V. N. (2008). *Intermetallidy na osnove titana i nikelya dlya izdeliy novoy tekhniki. Avtomaticheskaya svarka*, 11, 76–82. Available at: <http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/100041/09-Kablov.pdf?sequence=1>

9. Bagdasarov, Kh. S. (2004). *Vysokotemperaturnaya kristallizatsiya iz rasplava*. Moscow: FIZMATLIT, 160. Available at: <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN5922104829.html>
10. Alikhanov, V., Khudoyan, M. V. (2019). Directionally crystallized eutectics obtaining method. *University News. North-Caucasian Region. Technical Sciences Series*, 1, 77–81. doi: <https://doi.org/10.17213/0321-2653-2019-1-77-81>
11. Loboda, P., Zvorykin, C., Zvorykin, V., Vrzhyzhevskiy, E., Taranova, T., Kostin, V. (2020). Production and Properties of Electron-Beam-Welded Joints on Ti-TiB Titanium Alloys. *Metals*, 10 (4), 522. doi: <https://doi.org/10.3390/met10040522>
12. Loboda, P., Zvorykin, V., Zvorykin, C., Vrzhyzhevskiy, E., Taranova, T., Kostin, V., Zvorykin, L. (2023). Features of the welded seam material crystallization in Ti-TiB alloy under electron-beam welding conditions. *Mechanics and Advanced Technologies*, 7 (1), 36–42. doi: <https://doi.org/10.20535/2521-1943.2023.7.1.277544>
13. Loboda, P., Zvorykin, C., Zvorykin, V., Vrzhyzhevskiy, E., Taranova, T., Kostin, V. (2020). Structural regularities of welded seam between Ti-TiB and vanadium with 12X18H10T interlayer by using electron beam welding. *Mechanics and Advanced Technologies*, 2 (89). doi: <https://doi.org/10.20535/2521-1943.2020.89.211400>
14. Hu, Z.-Y., Peng, H.-C., Zhang, Z.-H., Song, P., Chen, M., Ding, Y.-S. et al. (2021). Influence of the sintering temperature on the microstructure, mechanical properties and densification characteristics of (TiB+TiC)/TC<sub>4</sub> composite. *Materials Research Express*, 8 (12), 126517. doi: <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ac40b7>

DOI: [10.15587/1729-4061.2023.285711](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.285711)

#### OPTIMIZATION OF RESISTANCE SPOT WELDING WITH SURFACE ROUGHNESS DISSIMILAR MILD STEEL WITH STAINLESS STEEL (p. 63–71)

**Ariyanto**

Politeknik ATI Makassar,  
Makassar, Indonesia

ORCID : <https://orcid.org/0000-0001-5015-8250>

**Muhammad Setiawan Sukardin**

Politeknik ATI Makassar,  
Makassar, Indonesia

ORCID : <https://orcid.org/0009-0000-0927-9499>

**Ilyas Renreng**

Hasanuddin University, Gowa,  
South Sulawesi, Indonesia

ORCID : <https://orcid.org/0000-0003-2224-5028>

**Hairul Arsyad**

Hasanuddin University, Gowa,  
South Sulawesi, Indonesia

ORCID : <https://orcid.org/0000-0003-3356-2846>

**Muhammad Syahid**

Hasanuddin University, Gowa,  
South Sulawesi, Indonesia

ORCID : <https://orcid.org/0000-0001-8025-4542>

**Muhammad Alwi**

Stitek Dharma Yadi Makassar, Makassar,  
South Sulawesi, Indonesia

ORCID : <https://orcid.org/0000-0003-1568-4225>

Resistance spot welding plays a critical role in the manufacture dissimilar material industry. However, there are differences in mechanical properties between mild steel and stainless steel so as to reduce the quality of welded joints. In order for differences

in mechanical properties to be corrected, surface roughness was treated. The aim of this study was to optimize the welding parameters of DRSW with surface roughness by analysis using the Taguchi and Anova Methods. In this study discusses about investigates the Resistance spot welding parameters on weld geometry, mechanical properties, and SEM EDS on dissimilar materials of mild steel and stainless steel. The material thickness of the mild steel and stainless steel are 1 mm, respectively. The process parameters of the resistance spot welding joint used, example; surface roughness, current, welding time, and electrode force. Quality welding joint test results include weld geometry, mechanical properties, and SEM EDS. Weld geometry testing to determine the weld nugget profile. The mechanical properties test was shear tensile test, while the SEM EDS included macrostructure and microstructure observations. The results showed the highest nugget diameter 6.65 mm highest shear tensile strength 7.66 kN. The most influential parameter is current by 75.08 %, then surface roughness by 12.35 %. The highest tensile strength has fewer defects. Surface roughness treatment before welding is very good to make welding quality joints between mild steel and quality stainless steel increase. Surface roughness treatment was very good to be included when making welding procedures for welding engineers for welding processes resistance spot welding dissimilar mild steel with stainless steel.

**Keywords:** resistance spot welding, dissimilar material, mild steel, stainless steel, surface roughness treatment.

#### References

1. Feujofack Kemda, B. V., Barka, N., Jahazi, M., Osmani, D. (2019). Optimization of resistance spot welding process applied to A36 mild steel and hot dipped galvanized steel based on hardness and nugget geometry. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 106 (5-6), 2477–2491. doi: <https://doi.org/10.1007/s00170-019-04707-w>
2. Bozkurt, F., Çakır, F. H. (2021). An experimental design of spot welding of Ti<sub>6</sub>Al<sub>4</sub>V sheets and numerical modeling approach. *Welding in the World*, 65 (5), 885–898. doi: <https://doi.org/10.1007/s40194-020-01054-3>
3. Hu, S., Haselhuhn, A. S., Ma, Y., Li, Y., Carlson, B. E., Lin, Z. (2021). Sensitivity of dissimilar aluminum to steel resistance spot welds to weld gun deflection. *Journal of Manufacturing Processes*, 68, 534–545. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2021.05.059>
4. Das, T., Das, R., Paul, J. (2020). Resistance spot welding of dissimilar AISI-1008 steel/Al-1100 alloy lap joints with a graphene interlayer. *Journal of Manufacturing Processes*, 53, 260–274. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2020.02.032>
5. Sokkalingam, R., Pravalika, B., Sivaprasad, K., Muthupandi, V., Prashanth, K. G. (2021). Dissimilar welding of high-entropy alloy to Inconel 718 superalloy for structural applications. *Journal of Materials Research*, 37 (1), 272–283. doi: <https://doi.org/10.1557/s43578-021-00352-w>
6. Biradar, A. K., Dabade, B. M. (2020). Optimization of resistance spot welding process parameters in dissimilar joint of MS and ASS 304 sheets. *Materials Today: Proceedings*, 26, 1284–1288. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.256>
7. Mishra, D., Rajanikanth, K., Shunmugasundaram, M., Kumar, A. P., Maneiah, D. (2021). Dissimilar resistance spot welding of mild steel and stainless steel metal sheets for optimum weld nugget size. *Materials Today: Proceedings*, 46, 919–924. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.01.067>
8. Hellberg, S., Hummel, J., Krooß, P., Niendorf, T., Böhm, S. (2020). Microstructural and mechanical properties of dissimilar nitinol and



- stainless steel wire joints produced by micro electron beam welding without filler material. *Welding in the World*, 64 (12), 2159–2168. doi: <https://doi.org/10.1007/s40194-020-00991-3>
9. Baek, S., Go, G. Y., Park, J.-W., Song, J., Lee, H., Lee, S.-J. et al. (2022). Microstructural and interface geometrical influence on the mechanical fatigue property of aluminum/high-strength steel lap joints using resistance element welding for lightweight vehicles: experimental and computational investigation. *Journal of Materials Research and Technology*, 17, 658–678. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.01.041>
  10. Ariyanto, Arsyad, H., Syahid, M., Ilyas, R. (2022). Optimization of Welding Parameters for Resistance Spot Welding with Variations in the Roughness of the Surface of the AISI 304 Stainless Steel Joint to Increase Joint Quality. *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*, 11 (11), 877–883. doi: <https://doi.org/10.18178/ijmerr.11.11.877-883>
  11. Shin, S., Park, D.-J., Yu, J., Rhee, S. (2019). Resistance Spot Welding of Aluminum Alloy and Carbon Steel with Spooling Process Tapes. *Metals*, 9 (4), 410. doi: <https://doi.org/10.3390/met9040410>
  12. Kar, A., Kailas, S. V., Suwas, S. (2019). Effect of Mechanical Mixing in Dissimilar Friction Stir Welding of Aluminum to Titanium with Zinc Interlayer. *Transactions of the Indian Institute of Metals*, 72 (6), 1533–1536. doi: <https://doi.org/10.1007/s12666-019-01643-x>
  13. Mirmahdi, E. (2020). Numerical and Experimental Modeling of Spot Welding Defects by Ultrasonic Testing on Similar Sheets and Dissimilar Sheets. *Russian Journal of Nondestructive Testing*, 56 (8), 620–634. doi: <https://doi.org/10.1134/s1061830920080069>
  14. Peethala, A. K., D, B. N., Rao, K. S., G, R. (2023). Optimization of welding parameters and study on mechanical and pitting corrosion behavior of dissimilar stainless steel GTA welds. *Chemical Data Collections*, 43, 100978. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cdc.2022.100978>
  15. Dhawale, P. A., Ronge, B. P. (2019). Parametric optimization of resistance spot welding for multi spot welded lap shear specimen to predict weld strength. *Materials Today: Proceedings*, 19, 700–707. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.07.756>
  16. Guzanová, A., Brezinová, J., Varga, J., Džupon, M., Vojtko, M., Janoško, E. et al. (2023). Experimental Study of Steel–Aluminum Joints Made by RSW with Insert Element and Adhesive Bonding. *Materials*, 16 (2), 864. doi: <https://doi.org/10.3390/ma16020864>
  17. Taufiqurrahman, I., Lenggo Ginta, T., Mustapha, M. (2021). The effect of holding time on dissimilar resistance spot welding of stainless steel 316L and Ti<sub>6</sub>Al<sub>4</sub>V titanium alloy with aluminum interlayer. *Materials Today: Proceedings*, 46, 1563–1568. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.07.237>
  18. Choi, D.-Y., Sharma, A., Uhm, S.-H., Jung, J. P. (2018). Liquid Metal Embrittlement of Resistance Spot Welded 1180 TRIP Steel: Effect of Electrode Force on Cracking Behavior. *Metals and Materials International*, 25 (1), 219–228. doi: <https://doi.org/10.1007/s12540-018-0180-x>
  19. Hassoni, S. M., Barrak, O. S., Ismail, M. I., Hussein, S. K. (2022). Effect of Welding Parameters of Resistance Spot Welding on Mechanical Properties and Corrosion Resistance of 316L. *Materials Research*, 25. doi: <https://doi.org/10.1590/1980-5373-mr-2021-0117>
  20. Sejc, P., Gábrišová, Z. (2018). Optimization of RSW parameters by joining galvanized steel HZ 220 BD-Z100 MB with aluminium AV 1050A. *Metallic Materials*, 56 (03), 145–152. doi: [https://doi.org/10.4149/km\\_2018\\_3\\_145](https://doi.org/10.4149/km_2018_3_145)
  21. Mahmood, N. Y. (2020). Prediction of the optimum tensile - shear strength through the experimental results of similar and dissimilar spot welding joints. *Archive of Mechanical Engineering*, 67 (2), 197–210. doi: <https://doi.org/10.24425/ame.2020.131690>
  22. Curiel, F. F., García, R., López, V. H., García, M. A., Contreras, A., García, M. A. (2021). The Effect of Applying Magnetic Fields During Welding AISI-304 Stainless Steel on Stress Corrosion Cracking. *International Journal of Electrochemical Science*, 16 (3), 210338. doi: <https://doi.org/10.20964/2021.03.31>
  23. Ren, S., Ma, Y., Saeki, S., Iwamoto, Y., Ma, N. (2020). Numerical analysis on coaxial one-side resistance spot welding of Al5052 and CFRP dissimilar materials. *Materials & Design*, 188, 108442. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2019.108442>
  24. Zhang, T., Wang, W., Zhou, J., Yan, Z., Zhang, J. (2019). Interfacial characteristics and nano-mechanical properties of dissimilar 304 austenitic stainless steel/AZ31B Mg alloy welding joint. *Journal of Manufacturing Processes*, 42, 257–265. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2019.04.031>
  25. Özen, F., Aslanlar, S. (2021). Mechanical and microstructural evaluation of resistance spot welded dissimilar TWIP/martensitic steel joints. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 113 (11-12), 3473–3489. doi: <https://doi.org/10.1007/s00170-021-06848-3>
  26. Ariyanto, Renreng, I., Arsyad, H., Syahid, M. (2023). Optimization parameter resistance spot welding dissimilar material- a review. *AIP Conference Proceedings*. doi: <https://doi.org/10.1063/5.0126219>
  27. Nagatsuka, K., Xiao, B., Wu, L., Natata, K., Saeki, S., Kitamoto, Y., Iwamoto, Y. (2018). Dissimilar materials joining of metal/carbon fibre reinforced plastic by resistance spot welding. *Welding International*, 32 (7), 505–512. doi: <https://doi.org/10.1080/01431161.2017.1346889>
  28. Raturi, M., Garg, A., Bhattacharya, A. (2019). Joint strength and failure studies of dissimilar AA6061-AA7075 friction stir welds: Effects of tool pin, process parameters and preheating. *Engineering Failure Analysis*, 96, 570–588. doi: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2018.12.003>
  29. Patel, N. P., Parlkar, P., Singh Dhari, R., Mehta, K., Pandya, M. (2019). Numerical modelling on cooling assisted friction stir welding of dissimilar Al-Cu joint. *Journal of Manufacturing Processes*, 47, 98–109. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2019.09.020>
  30. Aizuddin, Z. A. Z., Aminudin, B. A., Sanda, P. S., Zetty, R. M. S. (2016). Resistance Spot Welding Process Optimization Using Taguchi Robust Method for Joining Dissimilar Material. *Applied Mechanics and Materials*, 835, 248–253. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.835.248>
  31. Mohammed, S. M. A. K., Dash, S. S., Jiang, X. Q., Li, D. Y., Chen, D. L. (2019). Ultrasonic spot welding of 5182 aluminum alloy: Evolution of microstructure and mechanical properties. *Materials Science and Engineering: A*, 756, 417–429. doi: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2019.04.059>
  32. Wang, Y., Yang, S. (2022). Effects of Electrode Combinations on RSW of 5182-O/AlSi10MnMg Aluminum. *Welding Journal*, 101 (2), 54–66. doi: <https://doi.org/10.29391/2022.101.005>
  33. Wei, F., Zhu, Y., Tian, Y., Liu, H., Zhou, Y., Zhu, Z. (2022). Resistance Spot-Welding of Dissimilar Metals, Medium Manganese TRIP Steel and DP590. *Metals*, 12 (10), 1596. doi: <https://doi.org/10.3390/met12101596>
  34. Liu, X., Wei, Y., Wu, H., Zhang, T. (2020). Factor analysis of deformation in resistance spot welding of complex steel sheets based on reverse engineering technology and direct finite element analysis. *Journal of Manufacturing Processes*, 57, 72–90. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2020.06.028>
  35. Podgornik, B., Kafexhiu, F., Nevosad, A., Badisch, E. (2020). Influence of surface roughness and phosphate coating on galling resistance of medium-grade carbon steel. *Wear*, 446-447, 203180. doi: <https://doi.org/10.1016/j.wear.2019.203180>

36. Ariyanto, A., Assagaf, I. P., Ramadhan Latief, R., Maulana, F. R., Gusrifar, G., Fitriah, M. A., Ikhsan, M. (2023). Prototype of Resistance Spot Welding Material Preparation to Improve the Quality of Welding Joints. *International Journal of Engineering Business and Social Science*, 1 (04), 283–289. doi: <https://doi.org/10.58451/ijebss.v1i04.58>
37. Hvalec, M., Gorc, A., En, C. (1993). *Taguchi Method Applied To the Crystallization Processes*. Vol. 1. Prentice Hall.
38. Lin, H. C., Hsu, C. A., Lee, C. S., Kuo, T. Y., Jeng, S. L. (2018). Effects of zinc layer thickness on resistance spot welding of galvanized mild steel. *Journal of Materials Processing Technology*, 251, 205–213. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2017.08.035>
39. Kishore, K., Kumar, P., Mukhopadhyay, G. (2021). Microstructure, Tensile and Fatigue Behaviour of Resistance Spot Welded Zinc Coated Dual Phase and Interstitial Free Steel. *Metals and Materials International*, 28 (4), 945–965. doi: <https://doi.org/10.1007/s12540-020-00939-8>
40. Wan, X., Wang, Y., Fang, C. (2014). Welding Defects Occurrence and Their Effects on Weld Quality in Resistance Spot Welding of AHSS Steel. *ISIJ International*, 54 (8), 1883–1889. doi: <https://doi.org/10.2355/isijinternational.54.1883>
41. Kubit, A., Trzpiecinski, T., Faes, K., Drabczyk, M., Bochnowski, W., Korzeniowski, M. (2019). Analysis of the effect of structural defects on the fatigue strength of RFSSW joints using C-scan scanning acoustic microscopy and SEM. *Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures*, 42 (6), 1308–1321. doi: <https://doi.org/10.1111/ffe.12984>
42. Bodu, S., Andrieiev, V., Novoshytskyi, A. (2023). Strengthening of friction surfaces by using geomodifiers based on serpentines from the Dashukivka deposit. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (12 (123)), 38–47. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.283441>
43. Sulfiana, E., Sonjaya, M. L., Ariyanto, Fitriah, M. A., Assagaf, I. P. A., Baharuddin, A. V., Arifin, A. N. (2023). Material preparation with sanding machine against welding nugget diameter, penetration and surface roughness on spot welding resistance connections. *AIP Conference Proceedings*. doi: <https://doi.org/10.1063/5.0142307>
44. Salimi Beni, S., Atapour, M., Salmani, M. R., Ashiri, R. (2019). Resistance Spot Welding Metallurgy of Thin Sheets of Zinc-Coated Interstitial-Free Steel. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 50 (5), 2218–2234. doi: <https://doi.org/10.1007/s11661-019-05146-8>

DOI: [10.15587/1729-4061.2023.287397](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.287397)

**IDENTIFYING THE INFLUENCE OF ORBITAL PIPE WELDING PARAMETERS ON MECHANICAL PROPERTIES USING SS316L PIPE (p. 72–84)**

**Eko Prasetyo**

Universitas Indonesia, Kampus Baru UI Depok,  
West Java, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3841-9141>

**Ario Sunar Baskoro**

Universitas Indonesia, Kampus Baru UI Depok,  
West Java, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0768-4196>

**Agus Widianto**

Universitas Negeri Yogyakarta, Kabupaten Kulonprogo,  
Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1554-2561>

**Gandjar Kiswanto**

Universitas Indonesia, Kampus Baru UI Depok,  
West Java, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7817-4228>

Pipeline systems play a pivotal role across various industries, serving as the lifelines for transporting materials like oil, water, and gas. Among the welding techniques, orbital pipe welding, particularly Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) without filler metal, is the fitting method for joining these critical piping systems. This study examined orbital pipe welding on SS316L pipes with a 114-mm outer diameter and 3-mm thickness. The main goal was to evaluate the weld's tensile strength and microhardness carefully. Constant current and three welding speeds – 1.3, 1.4, and 1.5 mm/s – achieved this goal. In addition, welding experiments covered 0°, 90°, 180°, and 270° pipe positions. First, the necessary tools and test objects were prepared, and then the test materials were welded. The final phase was testing tensile strength and microhardness. This investigation used a 5G-specific prototype orbital pipe welding equipment. The 5G method requires horizontal welding with the vertical pipe axis. The study used ASTM E-8M-compliant standardized test material for precise and repeatable tensile strength measurements. This standardization ensured outcomes reliability. One of the significant findings was that 1.4 mm/s welding at the 270° pipe position with 110 A current produced the maximum tensile strength. This shows that these conditions are best for welding SS316L-type stainless steel pipes with an outside diameter of 114 mm and a thickness of 3 mm. Strangely, microhardness testing showed that horizontal distribution welding quality decreased at 1.4 mm/s. This implies that further experimentation may be needed to fine-tune the welding parameters to optimize the process and achieve superior microhardness values.

**Keywords:** orbital pipe welding, gas tungsten arc welding, SS316L, tensile strength, microhardness.

**References**

1. Singh, N. K., Pradhan, S. K. (2020). Experimental and numerical investigations of pipe orbital welding process. *Materials Today: Proceedings*, 27, 2964–2969. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.902>
2. Harris, I. D. (2011). Welding advances in tube and pipe applications. *Welding Journal*, 90 (6), 58–63. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/291636610\\_Welding\\_Advances\\_in\\_Tube\\_and\\_Pipe\\_Applications](https://www.researchgate.net/publication/291636610_Welding_Advances_in_Tube_and_Pipe_Applications)
3. Rahimi, A., Shamanian, M. (2019). The PC-GTAW of Ti–6Al–4V Thin Sheets and Its Effects on Mechanical and Microstructural Properties. *Metallography, Microstructure, and Analysis*, 8 (6), 871–879. doi: <https://doi.org/10.1007/s13632-019-00595-4>
4. Park, J.-H., Kim, S.-H., Moon, H.-S., Kim, M.-H. (2019). Influence of Gravity on Molten Pool Behavior and Analysis of Microstructure on Various Welding Positions in Pulsed Gas Metal Arc Welding. *Applied Sciences*, 9 (21), 4626. doi: <https://doi.org/10.3390/app9214626>
5. Okano, S., Mochizuki, M. (2017). Transient distortion behavior during TIG welding of thin steel plate. *Journal of Materials Processing Technology*, 241, 103–111. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2016.11.006>
6. Pal, K., Pal, S. K. (2010). Effect of Pulse Parameters on Weld Quality in Pulsed Gas Metal Arc Welding: A Review. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 20 (6), 918–931. doi: <https://doi.org/10.1007/s11665-010-9717-y>
7. Dak, G., Joshi, J., Yadav, A., Chakraborty, A., Khanna, N. (2020). Autogenous welding of copper pipe using orbital TIG welding technique for application as high vacuum boundary parts of nuclear fusion devices. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 188, 104225. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpvp.2020.104225>

8. Karthikeyan, M., Naikan, V. N., Narayan, R., Sudhakar, D. P. (2016). Orbital TIG welding process parameter optimization using design of experiment for satellite application. *International Journal of Performability Engineering*, 12 (2), 155. Available at: <http://www.ijpe-online.com/EN/10.23940/ijpe.16.2.p155.mag>
9. Liu, Y., Wang, P., Fang, H., Ma, N. (2021). Characteristics of welding distortion and residual stresses in thin-walled pipes by solid-shell hybrid modelling and experimental verification. *Journal of Manufacturing Processes*, 69, 532–544. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2021.08.014>
10. Liu, C., Zhang, J. X. (2009). Numerical simulation of transient welding angular distortion with external restraints. *Science and Technology of Welding and Joining*, 14 (1), 26–31. doi: <https://doi.org/10.1179/136217108x341175>
11. Garcia, J. A. O. de, Dias, N. S., Lima, G. L. de, Pereira, W. D. B., Nogueira, N. F. (2010). Advances of orbital gas tungsten arc welding for Brazilian space applications - experimental setup. *Journal of Aerospace Technology and Management*, 2 (2), 211–218. doi: <https://doi.org/10.5028/jatm.2010.02026610>
12. Feng, J. C., Rathod, D. W., Roy, M. J., Francis, J. A., Guo, W., Irvine, N. M. et al. (2017). An evaluation of multipass narrow gap laser welding as a candidate process for the manufacture of nuclear pressure vessels. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 157, 43–50. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpvp.2017.08.004>
13. Widyianto, A., Baskoro, A. S., Kiswanto, G. (2022). Investigation on Weld Characteristic, Welding Position, Microstructure, and Mechanical Properties in Orbital Pulse Current Gas Tungsten Arc Welding of AISI 304L Stainless Steel Pipe. *International Journal of Technology*, 13 (3), 473. doi: <https://doi.org/10.14716/ijtech.v13i3.3134>
14. Widyianto, A., Baskoro, A. S., Kiswanto, G., Ganeswara, M. F. G. (2021). Effect of welding sequence and welding current on distortion, mechanical properties and metallurgical observations of orbital pipe welding on SS 316L. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (12 (110)), 22–31. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.228161>
15. Sridhar, P. V. S. S., Biswas, P., Mahanta, P. (2020). Effect of process parameters on bead geometry, tensile and microstructural properties of double-sided butt submerged arc welding of SS 304 austenitic stainless steel. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 42 (10). doi: <https://doi.org/10.1007/s40430-020-02636-4>

АНОТАЦІЇ  
MATERIALS SCIENCE

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.289626

**РОЗРОБКА БІОПЛАСТИКУ З ЕКОЛОГІЧНО ЧИСТОГО КРОХМАЛЮ САГО (МЕТРОКСИЛОН) ТАВАРО (с. 6–16)**

Budiawan Sulaeman, Nasaruddin Salam, Andi Erwin Eka Putra, Lukmanul Hakim Arma

В роботі досліджується стійкий біопластик, виготовлений із крохмалю саго Tawaro. Це дослідження мотивовано глобальною потребою зменшити вплив полімерів на нафтовій основі на навколишнє середовище та знайти більш екологічні альтернативи. Досліджується концентрація амілози крохмалю саго Tawaro, рівні вологи та екологічні якості. Він ретельно змішує крохмаль саго, гліцерин, оцтову кислоту та водний розчин активатора для створення біопластику. Дослідження вивчатиме хімічний склад цих біопластиків, кристалічну структуру, механічні властивості та реакцію на УФ-випромінювання та розвиток мікробів. Дослідники та розробники зацікавлені в крохмалі саго, який є основною їжею в місті Палопо, провінція Південний Сулавесі, Індонезія, як екологічно чистий матеріал. Крохмаль саго є перевагою завдяки своїй відновлюваній природі та екологічним властивостям. У дослідженні вивчаються XRD, механічні характеристики та мікробіологічний розвиток біопластику саго, що дає цінну інформацію. Відповідно до XRD біопластик саго Tawaro не містить важких металів. Механічні характеристики значно покращилися, досягнувши 2867 Н/мм<sup>2</sup>. 48-годинний вплив ультрафіолетового випромінювання в межах обмежень змінив хімічний ланцюг, спричинивши покращення. Крім того, бактерії швидко ростуть на біопластичі саго. Це дослідження пропагує біопластик на основі саго як екологічно чисту альтернативу традиційним пластикам, сприяючи екологічній стійкості. Це дослідження підтримує глобальне прагнення до створення екологічно чистих матеріалів. Використовуючи крохмаль саго Tawaro, можна знайти креативні рішення для більш екологічного та сталого майбутнього, оскільки біопластик надає переконливу альтернативу існуючим пластмасам і знижує їхній вплив на навколишнє середовище.

**Ключові слова:** рентгєнівська дифракція, крохмаль Tawaro, обробка ультрафіолетовим випромінюванням, механічні властивості.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.288506

**ВИЯВЛЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ СТРУКТУРНО-ФАЗОВИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ ПРИ ПЕРЕРОБЦІ ОКСИДНИХ ВІДХОДІВ ВІД ВИРОБНИЦТВА ШВИДКОРІЗУЧОЇ СТАЛІ (с. 17–22)**

В. О. Волох, А. М. Поляков, В. І. Ребенко, А. М. Андрєєв, М. М. Ямшинський, І. В. Лук'яненко, В. І. Курлов, Є. М. Чаплигін, Н. Є. Власенко, Д. В. Іванченко

Досліджено особливості фазових та структурних перетворень при вуглецевотермічному відновленні окалини швидкорізуючої сталі з отриманням добавки для легування. Це потрібно для визначення технологічних показників, що дозволяють зменшити втрати високовартісних елементів під час отримання та використання легуючої добавки. Поетапна зміна ступеня відновлення окалини з 32 % до 69 % та 77 % обумовила посилення прояву твердого розчину легуючих елементів та вуглецю в гратці  $\alpha$ -Fe відносно до  $\text{FeWO}_4$  та  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Разом з цим мали прояв  $\text{Fe}_3\text{C}$ ,  $\text{FeW}_3\text{C}$ ,  $\text{WC}$ ,  $\text{VC}$ ,  $\text{V}_2\text{C}$  та  $\text{Cr}_3\text{C}_2$ . При цьому спостерігалось утворення часток багатогранної та округлої форми різного хімічного складу та формування губчастої мікроструктури. Визначено, що найбільш прийнятний ступінь відновлення складає 77 %. При цьому ступінь відновлення 69 % також є достатнім, так як завдяки залишковому вуглецю у вигляді карбідів забезпечується підвищена відновна здатність з довідновленням оксидної складової в рідкому металі при легуванні. Губчаста мікроструктура забезпечує відносно швидке розчинення в порівнянні із стандартними феросплавами, що обумовлює зниження загального часу плавки при зменшенні витрачених ресурсів. В отриманій легуючій добавці не було виявлено фаз і з'єднань, що характеризуються підвищеною схильністю до сублимації. Тобто немає потреби забезпечення додаткових умов, що перешкоджають втраті високовартісних елементів при випаровуванні з газовою фазою, що обумовлює зростання ступеня вилучення легуючих елементів. Показники отриманої легуючої добавки дають можливість виплавки легованої сталі в електродуговій печі відповідно марок, склад яких не має суворих обмежень за вуглецем, при заміні частини стандартних феросплавів.

**Ключові слова:** вуглецевотермічне відновлення, окалина швидкорізуючих сталей, оксидні техногенні відходи, структурно-фазові перетворення.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.287043

**ВИЗНАЧЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ СТРУКТУРИ ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ ТРУБНОЇ СТАЛІ 13ХФА, ЩО ВИПЛАВЛЯЄТЬСЯ НА РІЗНИХ ШИХТАХ В ЕЛЕКТРОДУГОВІЙ ПЕЧІ (с. 23–31)**

Arif Mammadov, Agil Babayev, Nizami Ismailov, Mukhtar Huseynov, Faig Guliyev

Розглянута задача підвищення ефективності трубної сталі 13ХФА для нафтогазових свердловин за рахунок селективного відбору шихти для їх виплавки в електродуговій печі. Вивчено 4 партії з різною хімічною неоднорідністю. Встановлено, що розплав 1 з більш чистої шихти 1 містить меншу кількість шкідливих домішок у вигляді поверхнево-активних речовин (ПАР), що впливають на ріст зерна при нагріванні зразків під загартування. Таким чином, розплави 1 і 2, що містять у шихті меншу кількість ПАР, мають більшу тенденцію до росту аустенітного зерна і меншу прогартовуваність у порівнянні з розплавами 3 і 4, шихта яких відносно сильно забруднена ПАР. Це пов'язано з низькою відносно вільною енергією розплавів 3 і 4. Дослідження показало, що при відносно низькій температурі відпуску (300 °С) відбувається незначна зміна механічних властивостей зразків ( $R_m$ ,  $KC$  та ін.). Водневе насичення сталей значно знижує міцність сталей з усіх розплавів, проте збільшення часу відпуску призводить до збільшення тривалої міцності. При

цьому максимальна ударна в'язкість (КС) всіх розплавів спостерігається після нормалізації, але зразки з розплаву 1 мають більш високий ІС. При витримці зразків (570 °С) приграничні шари зерна сталі збагачувалися Р, Sb, Sn, As, що призводить до крихкості та ослаблення міжзеренного зчеплення та зниження енергії меж. В процесі випробувань при температурі –80 °С на зламах зразків після крихкого відпуску видно тріщини по межах зерен. Підвищуючи чистоту металевих відходів для виплавки трубної сталі, можна поліпшити комплекс її властивостей, а отже, і довговічність вироблених з неї безшовних труб для нафтогазової промисловості.

**Ключові слова:** відбір металевих відходів, трубна сталь, термообробка, відпускна крихкість, холодостійкість, нафтогазова промисловість.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.288340

### РОЗРОБКА ПРИПОЮ ДЛЯ ЖАРОМІЦНИХ НІКЕЛЕВИХ СПЛАВІВ СУДНОВИХ ГАЗОВИХ ТУРБІН НОВОГО ПОКОЛІННЯ (с. 32–46)

В. В. Квасницький, В. М. Коржик, В. Ф. Квасницький, М. В. Матвієнко, Є. А. Бутурля, І. М. Лагодзінський

Об'єкт досліджень: процеси формування спаяних з'єднань і напруженого стану. Предмет досліджень: структура, хімічний склад, довготривала високотемпературна міцність при температурі 900 °С, швидкість високотемпературної сольової корозії. Існуючі припої мають високотемпературну працездатність 40–50 % від працездатності сплавів СМ93-ВІ і СМ96-ВІ. Не дивлячись на це, паяння є основним способом з'єднання сучасних жароміцних ливарних сплавів. Тому розробка нових припоїв, що забезпечують формування з'єднань з підвищеною тривалою високотемпературною міцністю, є актуальною. Суднові газотурбінні лопатки працюють при температурі 900 °С. Метою розробки нового припою SBM-4 є досягнення тривалої високотемпературної міцності спаяних з'єднань при температурі 900 °С на рівні 85–90 % від міцності жароміцних сплавів СМ93-ВІ і СМ96-ВІ.

При розробці припою SBM-4 використано двоетапний метод. На першому етапі визначено хімічний склад основи припою з урахуванням особливостей умов роботи лопаток суднових газотурбінних двигунів і досягнень матеріалознавства жароміцних сплавів. На другому етапі обрано депресант та його необхідний вміст. Використовували комп'ютерні програми для визначення розподілу між  $\gamma$ - і  $\gamma'$ -фазами з урахуванням участі кожного елемента, як в дисперсійному, так і в твердорозчинному зміщенні. Визначали раціональні межі концентрацій легуючих елементів. Критерієм є мінімальна схильність припою до утворення крихких фаз з урахуванням впливу концентрацій хрому, ренію, танталу на стійкість проти високотемпературної сольової корозії і високотемпературну працездатність. Довготривала міцність спаяних припоєм SBM-4 сплавів СМ93-ВІ і СМ96-ВІ складає 89–91 % від міцності основного металу. Технології паяння та виправлення дефектів лиття впроваджено у виробництво.

**Ключові слова:** спаяні з'єднання, напружений стан, високотемпературна сольова корозія, довготривала міцність.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.287679

### ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВОГО ЗВАРЮВАННЯ ВИСОКОМІЦНИХ ТИТАНОВИХ СПЛАВІВ (с. 47–53)

О. В. Федосов, О. В. Карпович

Зазвичай досить важко провести глибоке проплавлення товстостінних виробів з титанових сплавів за допомогою звичайних технологій зварювання. В даному дослідженні було запропоновано використовувати електронно-променево зварювання в умовах високого вакууму для реалізації проплавлення товщиною 40 мм зі сплавів ВТ23, ВТ3-1.

В дослідженні розглядається можливість одержання якісних зварних з'єднань з високоміцних титанових сплавів, що мають ( $\alpha+\beta$ ) двофазної структури. Для реалізації дослідницьких робіт виготовлено зразки з вибраних матеріалів, виконано зварювання зразків за визначеними режимами, виконано металографічний аналіз, а також визначено рівень механічних властивостей. Апробацію результатів дослідження провели в лабораторних умовах.

Розглянуто технологічні особливості процесів електронно-променевого зварювання виробів товщиною 40 мм, та визначено параметри, що впливають на зварюваність титанових сплавів та їх структуру. Зварні зразки були перевірені методом рентгенівського неруйнівного контролю, досліджено мікроструктуру зварних швів та перевірено фізико-механічні властивості зварних з'єднань. Встановлено, що особливістю титанових сплавів ВТ3-1, ВТ23, є необхідність термообробки після зварювання на режимах основного металу для покращення характеристик зварного з'єднання. Отримана межа міцності сплавів після термічної обробки досягла значень 1250 МПа і більше, ударна в'язкість при цьому на рівні 48–50 Дж·см<sup>-2</sup>.

Моделювання процесу зварювання дозволило забезпечити відтворюваність характеристик зварного з'єднання на рівні наближеному до основного металу, підвищити показники якості зварних з'єднань, скоротити час на відпрацювання технології. Проведені дослідження зразків-імітаторів показали відповідність якості зварних з'єднань заданим параметрам.

**Ключові слова:** високоміцні титанові сплави, електронно-променево зварювання, технологічні параметри, макроструктура.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.288450

### ВИЗНАЧЕННЯ ОСОБЛИВОСТІ СПРЯМУВАННЯ ТА РОЗПОДІЛУ ІНТЕРМЕТАЛЕВОЇ ФАЗИ В ЕВТЕКТИЦІ МАТЕРІАЛУ ЗВАРНОГО ШВА ПІСЛЯ ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВОГО ЗВАРЮВАННЯ СПЛАВІВ ТИТАНУ ТА НІОБІУ (с. 54–62)

П. І. Лобода, А. К. Зворикіна, Е. Л. Вржижевський, Т. Г. Таранова, В. А. Костін, В. Л. Зворикін, Л. О. Зворикін

Об'єктом дослідження був матеріал зварного шва. Досліджено характер змін у мікроструктурі матеріалу зварного шва, які викликаються змінами підведеної енергії, легуючих елементів та тепловідведення з області розплаву. Зварювання виконували електронним

променем за  $U_{acc}=60$  кВ,  $I_{eb}=90$  мА, з еліпсоподібною розгорткою  $3 \times 4$  мм. Швидкість руху електронного променя  $v_{eb}$  змінювали від 7 до 15 мм·с<sup>-1</sup>. Температуру експериментальних зварюваних зразків  $T_0$  змінювали від 300 К до 673 К. Зварювали сплав Ті–ТіВ (мікрокомпозиційний сплав з армуючими волокнами ТіВ) зі сплавами Ті–ТіВ, Т110 та з ніобієм. Однією з задач зварювання цього сплаву визначено збереження та оптимізацію структури такого типу у зварному шві. У зварному шві спостерігали подрібнення боридних волокон, втрату їх початкової орієнтації та формування мікроструктури дендритного або коміркового типу.

Методами растрової електронної мікроскопії та мікрорентгеноспектрального аналізу було досліджено мікроструктуру матеріалу зварного шва та визначено розмірні характеристики волокон ТіВ за різних умов зварювання. Проведено аналіз змін мікроструктур матеріалу зварного шва, середньої довжини  $a$  та товщини  $e$  боридних волокон в матеріалі з'єднань, виконаних за різних швидкостей  $v_{eb}$  переміщення електронного променя та початкових температурах  $T_0$ . Встановлено, що зростання співвідношення  $e/a$  з 0.04–0.07 до 0.1–0.27 супроводжується значними змінами мікроструктури та механізму формування евтектичних фаз.

Показано, що процесом, який визначає формування мікроструктури матеріалу зварного шва, був евтектичний розпад з визначальним впливом на нього градієнту температур, швидкості кристалізації, переохолодження, концентраційних неоднорідностей, легуючих домішок.

**Ключові слова:** електронно-променеве зварювання, мікрокомпозиційний сплав, евтектичний розпад, розмір волокон, зварний шов.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.285711

## ОПТИМІЗАЦІЯ КОНТРОЛЬНОГО ТОЧКОВОГО ЗВАРЮВАННЯ З РІЗНОМІРНОЮ ШОРСТКІСТЮ ПОВЕРХНІ М'ЯКОЇ СТАЛІ З НЕРЖАВІЮЧОЮ СТАЛЮ (с. 63–71)

Ariyanto, Setiawan Sukardin, Ilyas Renreng, Hairul Arsyad, Muhammad Syahid, Muhammad Alwi

Контактне точкове зварювання відіграє вирішальну роль у виробництві різномірних матеріалів. Однак існують відмінності в механічних властивостях між м'якою та сатинованою сталлю, що знижує якість зварних з'єднань. Щоб виправити відмінності в механічних властивостях, шорсткість поверхні була оброблена. Мета цього дослідження полягала в оптимізації параметрів точкового зварювання з різним опором з шорсткістю поверхні шляхом аналізу за допомогою методів Тагучі та Anova. У цьому дослідженні обговорюється дослідження параметрів опорного точкового зварювання на геометрію зварного шва, механічні властивості та скануючої електронної мікроскопії (СЕМ) та енергодисперсійної рентгенівської спектроскопії (ЕРС) на різномірних матеріалах з м'якої та нержавіючої сталі. Товщина матеріалу м'якої сталі та нержавіючої сталі становить 1 мм відповідно. Приклад параметрів процесу опорного точкового зварювання; шорсткість поверхні, струм, час зварювання та сила електрода. Результати перевірки якості зварювальних з'єднань включають геометрію зварного шва, механічні властивості та СЕМ ЕРС. Випробування геометрії зварного шва для визначення профілю зварного шару. Випробуванням механічних властивостей було випробування на розтягнення при зсуві, тоді як СЕМ ЕРС включало спостереження за макроструктурою та мікроструктурою. Результати показали найбільший діаметр самородка 6,65 мм, найвищу міцність на зсув на розрив 7,66 кН. Найвпливовішим параметром є струм на 75,08 %, потім шорсткість поверхні на 12,35 %. Найвища міцність на розрив має менше дефектів. Обробка шорсткості поверхні перед зварюванням дуже хороша для покращення якості зварювання з'єднань між м'якою сталлю та якісною нержавіючою сталлю. Обробку шорсткості поверхні було дуже добре включити під час виконання зварювальних процедур для інженерів-зварювальників для зварювальних процесів контактним точковим зварюванням різномірної м'якої сталі з нержавіючою сталлю.

**Ключові слова:** контактне точкове зварювання, різномірний матеріал, м'яка сталь, нержавіюча сталь, обробка шорсткості поверхні.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.287397

## ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ ЗВАРЮВАННЯ ОРБІТАЛЬНОЇ ТРУБИ НА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ З ВИКОРИСТАННЯМ ТРУБИ SS316L (с. 72–84)

Eko Prasetyo, Ario Sunar Baskoro, Agus Widyanto, Gandjar Kiswanto

Трубопровідні системи відіграють ключову роль у різних галузях промисловості, слугуючи як рятівні для транспортування таких матеріалів, як нафта, вода та газ. Серед методів зварювання орбітальне зварювання труб, зокрема дугове зварювання газовою вольфрамовою дугою без присадочного металу, є методом підгонки для з'єднання цих критичних систем трубопроводів. У цьому дослідженні розглядалося орбітальне зварювання труб SS316L із зовнішнім діаметром 114 мм і товщиною 3 мм. Основна мета полягала в тому, щоб ретельно оцінити міцність на розрив і мікротвердість зварного шва. Постійний струм і три швидкості зварювання – 1,3, 1,4 і 1,5 мм/с – досягли цієї мети. Крім того, експерименти зі зварювання охоплювали положення труб під кутами 0°, 90°, 180° і 270°. Спочатку готували необхідні інструменти та об'єкти для випробувань, а потім зварювали досліджувані матеріали. Завершальним етапом були випробування міцності на розрив і мікротвердості. У цьому дослідженні використовувався прототип орбітального зварювального обладнання для 5G. Метод 5G вимагає горизонтального зварювання з вертикальною віссю труби. У дослідженні використовувався стандартизований випробувальний матеріал, сумісний з ASTM E-8M, для точних і повторюваних вимірювань міцності на розрив. Ця стандартизація забезпечила надійність результатів. Одним із важливих висновків було те, що зварювання зі швидкістю 1,4 мм/с при положенні труби під кутом 270° зі струмом 110 А дало максимальну міцність на розрив. Це показує, що ці умови найкращі для зварювання труб з нержавіючої сталі типу SS316L із зовнішнім діаметром 114 мм і товщиною 3 мм. Як не дивно, випробування мікротвердості показали, що якість горизонтального розподілу зварювання знизилася на 1,4 мм/с. Це означає, що можуть знадобитися подальші експерименти для точного налаштування параметрів зварювання для оптимізації процесу та досягнення вищих значень мікротвердості.

**Ключові слова:** орбітальне зварювання труб, газовольфрамове дугове зварювання, SS316L, міцність на розрив, мікротвердість.