

ABSTRACT AND REFERENCES

MATERIALS SCIENCE

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.302614
ELECTROCHEMICAL CHARACTERISTIC AND
MICROSTRUCTURE OF Ti-6Al-7Nb ALLOY
BY CENTRIFUGAL CASTING FOR ORTHOPEDIC
IMPLANT BASED ON AGEING TIME
VARIATIONS (p. 6–15)

Anjar Oktikawati

Universitas Indonesia, Jawa Barat, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-5850-3607>

Rini Riastuti

Universitas Indonesia, Jawa Barat, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3431-0413>

Damisih Damisih

National Research and Innovation Agency (BRIN), South
 Tangerang, Banten, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0525-5358>

I Nyoman Jujur

National Research and Innovation Agency (BRIN), South
 Tangerang, Banten, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6590-8798>

Agus Paul Setiawan Kaban

Universitas Indonesia, Jawa Barat, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8203-3070>

The alternative Ti-6Al-7Nb alloy has gained extensive progression due to its ability to eliminate the cytotoxicity of vanadium (V) in Ti-6Al-4V alloy for orthopedic implants. The production of titanium alloys by centrifugal casting shows significant potential to reduce costs. Heat treatment and aging can tailor the microstructure and improve the corrosion resistance of titanium alloys. This study examines the effects of various ageing times on the microstructure and corrosion resistance of a centrifugal cast Ti-6Al-7Nb alloy that has previously been heated and treated at a temperature of 1050 °C, and subsequently cooled to room temperature in argon atmosphere gas. Ageing was carried out at a temperature of 550 °C with variable times of 0, 4, 6, and 8 hours. The surface morphology, metal phase changes, and electrochemical characterization were tested using an optical microscope (OM), X-ray diffraction (XRD), potentiodynamic polarization (PDP), and electrochemical impedance spectroscopy (EIS). The basket-weave microstructure is formed where globularization occurs in some phases as ageing time increases. Increasing the FWHM α value is correlated with increasing the amount of α' martensite phase. As an ageing time enhances, the temperature might offer a greater driving constrain for the nucleation and expansion of the lamellar phase (α). Ageing of 8 hours has the lowest corrosion rate, 0.0023 mpy and highest corrosion resistance, 90457 $\Omega \cdot \text{cm}^2$, due to the partially bimodal structure and grain refinement with a smallest grain size of 327.87 μm . Tafel polarization results show that all passivated samples are stable in the Solution Body Fluid (SBF). This work can be used as a starting point for developing microstructural evolution in titanium alloys.

Keywords: orthopedic implant, titanium alloy, ageing time, microstructure, corrosion resistance.

References

- Davis, J. R. (1998). Metals Handbook Desk Edition. It was prepared under the direction of the ASM International Handbook Committee.
- Leyens, C., Peters, M. (Eds.) (2003). Titanium and Titanium Alloys. Wiley. <https://doi.org/10.1002/3527602119>
- Whittaker, M. (2018). Titanium Alloys 2017. Metals, 8 (5), 319. <https://doi.org/10.3390/met8050319>
- Froes, F. H. (2015). TITANIUM Physical Metallurgy Processing and Applications. ASM. Available at: <https://www.asminternational.org/wp-content/uploads/files/39989767/39989767-toc.pdf>
- Choubey, A., Balasubramaniam, R., Basu, B. (2004). Effect of replacement of V by Nb and Fe on the electrochemical and corrosion behavior of Ti-6Al-4V in simulated physiological environment. Journal of Alloys and Compounds, 381 (1-2), 288–294. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2004.03.096>
- Tamilselvi, S., Raman, V., Rajendran, N. (2006). Corrosion behaviour of Ti-6Al-7Nb and Ti-6Al-4V ELI alloys in the simulated body fluid solution by electrochemical impedance spectroscopy. Electrochimica Acta, 52 (3), 839–846. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2006.06.018>
- Ndukwe, A. I. (2022). Review of Recent Findings on Investment Casting of Titanium Alloys. Academic Journal of Manufacturing Engineering, 20 (2), 99–108. Available at: https://www.ajme.ro/PDF_AJME_2022_2/L12.pdf
- Su, B., Luo, L., Wang, B., Su, Y., Wang, L., Ritchie, R. O. et al. (2021). Annealed microstructure dependent corrosion behavior of Ti-6Al-3Nb-2Zr-1Mo alloy. Journal of Materials Science & Technology, 62, 234–248. <https://doi.org/10.1016/j.jmst.2020.05.058>
- Gu, B., Chekhonin, P., Xin, S. W., Liu, G. Q., Ma, C. L., Zhou, L., Skrotzki, W. (2021). Microstructure and texture development during hot-compression of Ti5321. Materials Characterization, 179, 111297. <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2021.111297>
- Hulka, I., Florido-Suarez, N. R., Mirza-Rosca, J. C., Saceleanu, A. (2022). Mechanical Properties and Corrosion Behavior of Thermally Treated Ti-6Al-7Nb Dental Alloy. Materials, 15 (11), 3813. <https://doi.org/10.3390/ma15113813>
- Lei, L., Zhao, Y., Zhao, Q., Wu, C., Huang, S., Jia, W., Zeng, W. (2021). Impact toughness and deformation modes of Ti-6Al-4V alloy with different microstructures. Materials Science and Engineering: A, 801, 140411. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2020.140411>
- Yao, L., He, Y., Wang, Z., Peng, B., Li, G., Liu, Y. (2021). Effect of Heat Treatment on the Wear Properties of Selective Laser Melted Ti-6Al-4V Alloy Under Different Loads. Acta Metallurgica Sinica (English Letters), 35 (3), 517–525. <https://doi.org/10.1007/s40195-021-01280-8>
- Tian, Y., Li, S., Hao, Y., Yang, R. (2013). High temperature deformation behavior and microstructure evolution mechanism transformation in Ti2448 alloy. Acta Metallurgica Sinica, 48 (7), 837–844. <https://doi.org/10.3724/sp.j.1037.2012.00007>
- Wang, G., Zhao, Z., Yu, B., Chen, Z., Wang, Q., Yang, R. (2017). Effect of Heat Treatment Process on Microstructure and Mechanical Properties of Titanium Alloy Ti6246. Chinese Journal of Materials Research, 31 (5), 352–358. <https://doi.org/10.11901/1005.3093.2016.621>
- Lee, C. S., Kim, M. G., Kim, G.-H., Kim, K.-T., Hwang, D., Kim, H. S. (2019). Corrosion Properties of Ultra-Fine-Grained Cu-3 wt % Ti Alloy Fabricated by Combination of Hot Rolling and Aging Treatment. Journal of Nanoscience and Nanotechnology, 19 (10), 6487–6492. <https://doi.org/10.1166/jnn.2019.17071>
- Avinash, D., Leo Kumar, S. P. (2021). Investigations on surface-integrity and mechanical properties of biocompatible grade Ti-6Al-7Nb alloy. Materials Technology, 37 (9), 897–905. <https://doi.org/10.1080/10667857.2021.1903671>

17. Gao, K., Zhang, Y., Yi, J., Dong, F., Chen, P. (2024). Overview of Surface Modification Techniques for Titanium Alloys in Modern Material Science: A Comprehensive Analysis. *Coatings*, 14 (1), 148. <https://doi.org/10.3390/coatings14010148>
18. Yang, X., Dong, X., Li, W., Feng, W., Xu, Y. (2020). Effect of solution and aging treatments on corrosion performance of laser solid formed Ti-6Al-4V alloy in a 3.5 wt. % NaCl solution. *Journal of Materials Research and Technology*, 9 (2), 1559–1568. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.11.082>
19. Senopati, G., Rahman Rashid, R. A., Kartika, I., Palanisamy, S. (2023). Recent Development of Low-Cost β -Ti Alloys for Biomedical Applications: A Review. *Metals*, 13 (2), 194. <https://doi.org/10.3390/met13020194>
20. Li, X. X., Zhou, Y., Ji, X. L., Li, Y. X., Wang, S. Q. (2015). Effects of sliding velocity on tribo-oxides and wear behavior of Ti-6Al-4V alloy. *Tribology International*, 91, 228–234. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2015.02.009>
21. Khun, N. W., Tan, A. W. Y., Bi, K. J. W., Liu, E. (2016). Effects of working gas on wear and corrosion resistances of cold sprayed Ti-6Al-4V coatings. *Surface and Coatings Technology*, 302, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2016.05.052>
22. Weng, F., Yu, H., Chen, C., Liu, J., Zhao, L., Dai, J., Zhao, Z. (2017). Effect of process parameters on the microstructure evolution and wear property of the laser cladding coatings on Ti-6Al-4V alloy. *Journal of Alloys and Compounds*, 692, 989–996. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2016.09.071>
23. Marenych, O. O., Ding, D., Pan, Z., Kostryzhev, A. G., Li, H., van Duin, S. (2018). Effect of chemical composition on microstructure, strength and wear resistance of wire deposited Ni-Cu alloys. *Additive Manufacturing*, 24, 30–36. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2018.08.003>
24. Sieniawski, J., Ziaja, W., Kubiak, K., Motyk, M. (2013). Microstructure and Mechanical Properties of High Strength Two-Phase Titanium Alloys. *Titanium Alloys - Advances in Properties Control*. <https://doi.org/10.5772/56197>
25. Guan, S., Solberg, K., Wan, D., Berto, F., Welo, T., Yue, T. M., Chan, K. C. (2019). Formation of fully equiaxed grain microstructure in additively manufactured AlCoCrFeNiTi0.5 high entropy alloy. *Materials & Design*, 184, 108202. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2019.108202>
26. Yan, C., Hao, L., Hussein, A., Young, P. (2015). Ti-6Al-4V triply periodic minimal surface structures for bone implants fabricated via selective laser melting. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 51, 61–73. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2015.06.024>
27. Matthew, J., Donachie, M. (2001). Heat treating titanium and its alloys. *HEAT TREATING PROGRESS*. Available at: https://www.academia.edu/32143147/Titanium_A_Technical_Guide
28. Bălăţu, M. S., Vizureanu, P., Bălan, T., Lohan, M., Ţugui, C. A. (2018). Preliminary Tests for Ti-Mo-Zr-Ta Alloys as Potential Biomaterials. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 374, 012023. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/374/1/012023>
29. Semiati, S. L. (2020). An Overview of the Thermomechanical Processing of α/β Titanium Alloys: Current Status and Future Research Opportunities. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 51 (6), 2593–2625. <https://doi.org/10.1007/s11661-020-05625-3>
30. Zuo, H., Deng, H., Zhou, L., Qiu, W., Xu, P., Wei, Y. et al. (2022). The effect of heat treatment on corrosion behavior of selective laser melted Ti-5Al-5Mo-5V-3Cr-1Zr alloy. *Surface and Coatings Technology*, 445, 128743. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2022.128743>
31. Seo, S., Park, J. (2023). Annealing Heat Treatment for Homogenizing the Microstructure and Mechanical Properties of Electron-Beam-Welded Thick Plate of Ti-6Al-4V Alloy. *Materials*, 16 (23), 7423. <https://doi.org/10.3390/ma16237423>
32. Winda Sari, M. (2019). Studi pengaruh temperatur solution treatment dan waktu aging terhadap sifat mekanik serta ketahanan korosi pada paduan implan biomedis Ti-6Al-7Nb hasil centrifugal casting. S1 thesis, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Available at: <https://eprints.untirta.ac.id/6046/>
33. Yang, Z., Li, J., Zhang, B., Li, J. (2022). Microstructures and mechanical properties of a titanium alloy thick plate joint after electron beam welding plus solution-aging. *Journal of Materials Research and Technology*, 19, 913–922. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.05.091>
34. Muniz, F. T. L., Miranda, M. A. R., Morilla dos Santos, C., Sasaki, J. M. (2016). The Scherrer equation and the dynamical theory of X-ray diffraction. *Acta Crystallographica Section A Foundations and Advances*, 72 (3), 385–390. <https://doi.org/10.1107/s205327331600365x>
35. Su, B., Wang, B., Luo, L., Wang, L., Liu, C., Su, Y. et al. (2022). Tuning microstructure and improving the corrosion resistance of a Ti-6Al-3Nb-2Zr-1Mo alloy via solution and aging treatments. *Corrosion Science*, 208, 110694. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2022.110694>
36. Liang, Z., Sun, Z., Zhang, W., Wu, S., Chang, H. (2019). The effect of heat treatment on microstructure evolution and tensile properties of selective laser melted Ti6Al4V alloy. *Journal of Alloys and Compounds*, 782, 1041–1048. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2018.12.051>
37. Xu, W., Brandt, M., Sun, S., Elambasseril, J., Liu, Q., Latham, K. et al. (2015). Additive manufacturing of strong and ductile Ti-6Al-4V by selective laser melting via in situ martensite decomposition. *Acta Materialia*, 85, 74–84. <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2014.11.028>
38. Chanfreau, N., Poquillon, D., Stark, A., Maawad, E., Mareau, C., Dehmas, M. (2022). Phase transformation of the Ti-5553 titanium alloy subjected to rapid heating. *Journal of Materials Science*, 57 (9), 5620–5633. <https://doi.org/10.1007/s10853-022-06959-6>
39. Xu, C., Sikan, F., Atabay, S. E., Muñiz-Lerma, J. A., Sanchez-Mata, O., Wang, X., Brochu, M. (2020). Microstructure and mechanical behavior of as-built and heat-treated Ti-6Al-7Nb produced by laser powder bed fusion. *Materials Science and Engineering: A*, 793, 139978. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2020.139978>
40. Yu, J., Yin, Z., Huang, Z., Zhao, S., Huang, H., Yu, K. et al. (2022). Effect of Aging Treatment on Microstructural Evolution and Mechanical Properties of the Electron Beam Cold Hearth Melting Ti-6Al-4V Alloy. *Materials*, 15 (20), 7122. <https://doi.org/10.3390/ma15207122>
41. Lei, Z., Chen, Y., Ma, S., Zhou, H., Liu, J., Wang, X. (2020). Influence of aging heat treatment on microstructure and tensile properties of laser oscillating welded TB8 titanium alloy joints. *Materials Science and Engineering: A*, 797, 140083. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2020.140083>
42. Li, C.-L., Hong, J.-K., Narayana, P. L., Choi, S.-W., Lee, S. W., Park, C. H. et al. (2021). Realizing superior ductility of selective laser melted Ti-6Al-4V through a multi-step heat treatment. *Materials Science and Engineering: A*, 799, 140367. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2020.140367>
43. Mahadule, D., Khatirkar, R. K., Gupta, S. K., Gupta, A., Dandekar, T. R. (2022). Microstructure evolution and corrosion behaviour of a high Mo containing $\alpha+\beta$ titanium alloy for biomedical applications. *Journal of Alloys and Compounds*, 912, 165240. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2022.165240>
44. Scully, J., Silverman, D., Kendig, M. (Eds.) (1993). *Electrochemical Impedance: Analysis and Interpretation*. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/stp1188-eb>
45. Stepień, M., Handzlik, P., Fitzner, K. (2016). Electrochemical synthesis of oxide nanotubes on Ti6Al7Nb alloy and their interaction with

- the simulated body fluid. *Journal of Solid State Electrochemistry*, 20 (10), 2651–2661. <https://doi.org/10.1007/s10008-016-3258-8>
46. Li, B. Q., Xie, R. Z., Lu, X. (2020). Microstructure, mechanical property and corrosion behavior of porous Ti-Ta-Nb-Zr. *Bioactive Materials*, 5 (3), 564–568. <https://doi.org/10.1016/j.bioactmat.2020.04.014>
47. Mansfeld, F. (1990). Electrochemical impedance spectroscopy (EIS) as a new tool for investigating methods of corrosion protection. *Electrochimica Acta*, 35 (10), 1533–1544. [https://doi.org/10.1016/0013-4686\(90\)80007-b](https://doi.org/10.1016/0013-4686(90)80007-b)
48. Boukamp, B. (1986). A Nonlinear Least Squares Fit procedure for analysis of immittance data of electrochemical systems. *Solid State Ionics*, 20 (1), 31–44. [https://doi.org/10.1016/0167-2738\(86\)90031-7](https://doi.org/10.1016/0167-2738(86)90031-7)
49. Ibriš, N., Mirza Rosca, J. C. (2002). EIS study of Ti and its alloys in biological media. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 526 (1-2), 53–62. [https://doi.org/10.1016/s0022-0728\(02\)00814-8](https://doi.org/10.1016/s0022-0728(02)00814-8)

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.300489
IMPROVING THE THERMOSTATIC STEAM TRAP CHARACTERISTICS USING SPRING ELEMENTS WITH THE SHAPE MEMORY EFFECT (p. 16–22)

Vitaliy Pylypchak

Admiral Makarov National University
of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-7448-4612>

Oleksandr Epifanov

Admiral Makarov National University
of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8744-4779>

Pavlo Patsurkovskiy

Admiral Makarov National University
of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1120-5362>

Yuriy Shapovalov

Admiral Makarov National University
of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2324-0317>

The object of research is the deformation-force characteristics of spring elements of thermostatic steam traps with the shape memory effect.

The research solves the problem related to the imperfection of the design of steam traps controlling elements and their high inertia.

Experimental studies on the impact of the spring force elements cooling rate on the deformation-force characteristics were conducted. Experimental studies showed that the significant impact of the spring force elements cooling rate on the deformation-force characteristics is observed exceptionally under the deformation mode at a temperature $t \leq M_f$. Based on the results of the experiments, it was found that decreasing the cooling rate from 66.7 to 0.013 °C/s has a positive effect on the spring element deformation-force characteristics.

Distinctive feature of the work is the study of winding pitch and thermal force cycling impact on the deformation-force characteristics of spring elements. It was found that using thermal force cycling makes it possible to reduce the force required for complete compression of the spring element by 60 %. Intensive decrease in the force required for the complete compression of the spring elements occurs during the first 100 thermal force cycles.

The rational method for spring elements heat treatment has been given. It is based on the next steps: heating to a temperature

of 400–500 °C for 1 hour; exposure at this temperature for an hour; cooling with rate 0.013 °C/s, the number of thermal force cycles is at least 100 with a winding pitch of $8 \cdot 10^{-3}$ m. Based on research results, an improved design of thermostatic steam trap with controlling element in the form of cylindrical compression spring made of the VSP-1 alloy based on nitinol has been presented.

Keywords: steam trap, spring element, shape memory effect, inertia, thermal force cycling.

References

1. Steam Trap and Boiler Efficiency Research. Final Report (2020). DNV GL. Available at: <https://ma-eeac.org/wp-content/uploads/MA-CIEC-Stage-5-Final-Report-MA20C05-G-STBE-FINAL-20201020.pdf>
2. Sahoo, T. (2021). Steam Traps Failure. Root Cause Failure Analysis, 295–308. <https://doi.org/10.1002/9781119615606.ch16>
3. Mobley, R. K. (2004). Steam Traps. Maintenance Fundamentals, 365–373. <https://doi.org/10.1016/b978-075067798-1/50039-x>
4. Kavak, H., Döner, N. (2022). Impact of Steam Traps On Energy Efficiency and Energy Cost Analysis: The Case of a Textile Factory. *Mühendis ve Makina*, 63 (709), 651–671. <https://doi.org/10.46399/muhendismakina.1128047>
5. Gonzalez, C. H., Oliveira, C. A. do N., Pina, E. A. C. de, Urtiga Filho, S. L., Araújo Filho, O. O. de, Araújo, C. J. de. (2010). Heat treatments and thermomechanical cycling influences on the R-phase in Ti-Ni shape memory alloys. *Materials Research*, 13 (3), 325–331. <https://doi.org/10.1590/s1516-14392010000300008>
6. Oliveira, C. A. do N., Gonzalez, C. H., Olimpio Filho, O., Silva, N. J. da, Guimarães, P. B., Nuñez-Mendoza, E., Cuéllar, E. M. L. (2015). Thermomechanical Analysis on Ti-Ni Shape Memory Helical Springs Under Cyclic Tensile Loads. *Materials Research*, 18 (suppl 2), 17–24. <https://doi.org/10.1590/1516-1439.334514>
7. Hadi, A., Yousefi-Koma, A., Elahinia, M., Moghaddam, M. M., Ghazavi, A. (2011). A shape memory alloy spring-based actuator with stiffness and position controllability. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part I: Journal of Systems and Control Engineering*, 225 (7), 902–917. <https://doi.org/10.1177/20413041110394570>
8. Lemanski, J. L. (2006). A Low Hysteresis NiTiFe Shape Memory Alloy Based Thermal Conduction Switch. *AIP Conference Proceedings*. <https://doi.org/10.1063/1.2192327>
9. Krishnan, V. B., Bewerse, C., Notardonato, W. U., Vaidyanathan, R., Balachandran, U. (Balu), Amm, K. et al. (2008). A thermal conduction switch based on low hysteresis nitife shape memory alloy helical springs. *AIP Conference Proceedings*. <https://doi.org/10.1063/1.2900374>
10. Stachowiak, D. (2019). A computational and experimental study of shape memory alloy spring actuator. *Przegląd Elektrotechniczny*, 1 (7), 31–34. <https://doi.org/10.15199/48.2019.07.07>
11. Da Silva, K. C. A., Gonzalez, C. H., Oliveira, C. A. do N., Cândido Junior, M., Rocha, J. O. S. (2024). Study of superelastic fatigue in Ni-Ti alloy sensors/actuators with shape memory. *Observatório De La Economía Latinoamericana*, 22 (1), 3943–3962. <https://doi.org/10.55905/oelv22n1-205>
12. Polishchuk, V. A., Nikolaiev, O. L., Zadorozhnaya, T. P. (2016). Determination of spring elements characteristics using shape memory effect during thermomechanical impact. *Collection of Scientific Publications NUS*, 463 (1), 26–29. <https://doi.org/10.15589/jnn20160104>
13. Benafan, O., Brown, J., Calkins, F. T., Kumar, P., Stebner, A. P., Turner, T. L. et al. (2013). Shape memory alloy actuator design: CASMART collaborative best practices and case studies. *International Journal of Mechanics and Materials in Design*, 10 (1), 1–42. <https://doi.org/10.1007/s10999-013-9227-9>

14. Pylypchak, V., Zhukov, O. (2017). Pat. No. 116687 UA. Termostatychnyi kondensatovidvidnyk. No. u201700033; declared: 03.01.2017; published: 25.05.2017, Bul. No. 10. Available at: <https://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=viewdetails&Id-Claim=235931>
15. Huang, T.-S., Ou, S.-F., Kuo, C.-H., Yang, C.-H. (2020). Effects of Thermomechanical Treatment on Phase Transformation of the Ti-50Ni49W1 Shape Memory Alloy. *Metals*, 10 (4), 527. <https://doi.org/10.3390/met10040527>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.295536
OPTIMIZATION OF WELDING DIRECTION MODEL PARAMETERS TO ENHANCE THE TENSILE STRENGTH OF ST 42 STEEL JOINTS THROUGH VARIATION OF CURRENT STRENGTH SIMULATION (p. 23–31)

Saripuddin M

Islamic University of Makassar, Makassar, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4788-171X>

Ariyanto

Politeknik ATI Makassar, Makassar, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5015-8250>

Sriwati

Islamic University of Makassar, Makassar, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8188-0171>

Muhammad Fathur Rahman

Islamic University of Makassar, Makassar, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-4930-0142>

The welding process plays a central role in the welding industry, where the joint zone undergoing the welding process experiences structural and mechanical property changes. This research evaluates the comparison of current strength and parameters in the directional welding joint model, a critical aspect of addressing common weaknesses in welded joints. The research objects include four current levels (100, 120, 140, 160 A) and three types of welding directions (longitudinal, transversal, and combination). The aim of this study is to detect the optimal combination in welded joints that can produce a maximum tensile strength ratio. The research method involves tensile testing on various specimen models of joint types at specific current strength levels.

The research results indicate that at the current strength level of 120 A, the combined directional welding joint model (longitudinal+transverse) provides a maximum tensile strength reaching 335.370 MPa. This finding stands out significantly, surpassing the tensile strength values at other current levels and welding model types, such as at 100 A (331.574 MPa), 140 A (332.315 MPa), and 160 A (332.685 MPa). This discovery highlights that the combined joint model yields a substantial improvement in joint strength, making it an optimal solution for various current strength levels and joint models.

The key feature of this research involves specific recommendations for the welding industry, including guidelines on selecting optimal parameters to enhance the tensile strength of joints. The directional welding joint models can be a reference in designing welding procedure specifications to incorporate construction elements using ST 42 material. This research contributes both theoretically and practically, offering opportunities for improving efficiency and structural safety in the welding process, thus positively impacting the quality of joints in construction and manufacturing applications.

Keywords: current strength simulation, welding direction joint model, tensile strength.

References

1. Salehpour, F., Nematifard, V., Maram, G., Afkar, A. (2021). Experimental Investigation of TIG Welding Input Parameters Effects on Mechanical Characteristics. *International Journal of Engineering*, 34 (2). <https://doi.org/10.5829/ije.2021.34.02b.30>
2. You, Y.-T., Kim, J.-W. (2017). Fiber Laser Welding Properties of Copper Materials for Secondary Batteries. *Materials Science*, 23 (4). <https://doi.org/10.5755/j01.ms.23.4.16316>
3. Ozsarac, U. (2012). Investigation of Mechanical Properties of Galvanized Automotive Sheets Joined by Resistance Spot Welding. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 21 (5), 748–755. <https://doi.org/10.1007/s11665-012-0189-0>
4. Inoué, S. (1960). On the physical properties of the mitotic spindle. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 90 (2), 529–530. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1960.tb23269.x>
5. Ariyanto, Arsyad, H., Syahid, M., Renreng, I. (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. <https://doi.org/10.18178/ijmerr.11.11.877-883>
6. Jin, B., Tian, L., Hao, J., Wang, H., Wang, Y. (2022). Axial compressive behavior of twining-bamboo-confined thin-walled steel tubular columns. *Journal of Constructional Steel Research*, 192, 107246. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2022.107246>
7. Jaypuria, S., Doshi, N., Pratihari, D. K. (2018). Effects of Welding Parameters on Mechanical Properties in Electron Beam Welded CuCrZr Alloy Plates. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 338, 012013. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/338/1/012013>
8. Ma, H., Zheng, H., Zhang, W., Tang, Z., Lui, E. M. (2020). Experimental and Numerical Study of Mechanical Behavior of Welded Steel Plate Joints. *Metals*, 10 (10), 1293. <https://doi.org/10.3390/met10101293>
9. Prasad, S., Pal, S., Robi, P. S. (2020). Analysis of weld characteristics of micro plasma arc welded thin stainless steel 306 L sheet. *Journal of Manufacturing Processes*, 57, 957–977. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2020.07.062>
10. Gunawan, E., Choifin, M., Khoirul Rosidin, M., Nur Afifah, Y., Lestariningsih, W., Sungging Pradana, M. et al. (2019). Analysis of the Effect of Current Flow Variations in GTAW on SS 400 Plate Material Connected with SUS 304 Stainless Steel Plate Against Tensile Strength and Hardness with ER308L Electrodes. *Journal of Physics: Conference Series*, 1175, 012277. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1175/1/012277>
11. Wang, X. (2003). Fatigue and microstructure of welded joints of metal sheets for automotive exhaust system. *JSAE Review*, 24 (3), 295–301. [https://doi.org/10.1016/s0389-4304\(03\)00041-9](https://doi.org/10.1016/s0389-4304(03)00041-9)
12. Chen, Z., Wang, J., Liu, J., Cong, Z. (2020). Tensile and shear performance of rotary inter-module connection for modular steel buildings. *Journal of Constructional Steel Research*, 175, 106367. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2020.106367>
13. Ghorbel, R., Ktari, A., Haddar, N. (2021). Experimental analysis of temperature field and distortions in multi-pass welding of stainless clad steel. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 113 (11-12), 3525–3542. <https://doi.org/10.1007/s00170-021-06788-y>
14. Kumar, P., Sinha, A. N., Hirwani, C. K., Murugan, M., Saravanan, A., Singh, A. K. (2021). Effect of welding current in TIG welding 304L steel on temperature distribution, microstructure and mechanical properties. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 43 (7). <https://doi.org/10.1007/s40430-021-03082-6>
15. Bozkurt, F., Çakir, F. H., Schmidova, E., Sunil Kumar, M. R. (2020). The Effect of Welding Parameters on Static and Dynamic Behaviors

- of Spot Welded Ti6Al4V Sheets. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 29 (11), 7468–7479. <https://doi.org/10.1007/s11665-020-05202-0>
16. Dittrich, E., Kaars, J., Masek, B., Jenicek, S., Wagner, M. F.-X., Mayr, P. (2019). HAZ characterization of welded 42SiCr steel treated by quenching and partitioning. *Journal of Materials Processing Technology*, 268, 37–46. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2018.12.035>
 17. Singh, J., Arora, K. S., Shajan, N., Shome, M., Shukla, D. K. (2020). Influence of wire feed rate to speed ratio on arc stability and characteristics of cold metal transfer weld–brazed dissimilar joints. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 108 (11-12), 3491–3505. <https://doi.org/10.1007/s00170-020-05637-8>
 18. Kumar-Krishnasamy, R., Siegele, D. (2010). 3D modelling of a multi pass dissimilar tube welding and post weld heat treatment of nickel based alloy and chromium steel. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 87 (11), 643–649. <https://doi.org/10.1016/j.ijpvp.2010.08.010>
 19. Yuce, C., Karpat, F., Yavuz, N. (2018). Effects of Heat Input in Laser Welding of Dissimilar Galvanized Steel to Aluminium Alloy. *Proceedings of the 4th World Congress on Mechanical, Chemical, and Material Engineering*. <https://doi.org/10.11159/icmie18.125>
 20. Kocabekir, B., Kaçar, R., Gündüz, S., Hayat, F. (2008). An effect of heat input, weld atmosphere and weld cooling conditions on the resistance spot weldability of 316L austenitic stainless steel. *Journal of Materials Processing Technology*, 195 (1-3), 327–335. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2007.05.026>
 21. 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. <https://doi.org/10.1007/s12540-020-00939-8>
 22. Ghosh, P. S., Sen, A., Chattopadhyaya, S., Sharma, S., Singh, J., Dwivedi, S. P. et al. (2021). Prediction of Transient Temperature Distributions for Laser Welding of Dissimilar Metals. *Applied Sciences*, 11 (13), 5829. <https://doi.org/10.3390/app11135829>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.302614

ЕЛЕКТРОХІМІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТА МІКРОСТРУКТУРА СПЛАВУ Ti-6Al-7Nb ВІДЦЕНТРОВИМ ЛИТТЯМ ДЛЯ ОРТОПЕДИЧНОГО ІМПЛАНТАТУ НА ОСНОВІ ВАРІАЦІЇ ЧАСУ СТАРІННЯ (с. 6–15)

Anjar Oktikawati, Rini Riastuti, Damisih Damisih, I Nyoman Jujur, Agus Paul Setiawan Kaban

Альтернативний сплав Ti-6Al-7Nb набув значного прогресу завдяки своїй здатності усувати цитотоксичність ванадію (V) у сплаві Ti-6Al-4V для ортопедичних імплантатів. Виробництво титанових сплавів методом відцентрового лиття демонструє значний потенціал для зниження витрат. Термічна обробка та старіння можуть адаптувати мікроструктуру та покращити корозійну стійкість титанових сплавів. У цьому дослідженні досліджується вплив різного часу старіння на мікроструктуру та корозійну стійкість відцентрово литого сплаву Ti-6Al-7Nb, який попередньо нагрівали та обробили при температурі 1050 °C, а потім охолоджували до кімнатної температури в атмосфері аргону. Старіння проводили при температурі 550 °C зі змінним часом 0, 4, 6 і 8 годин. Морфологію поверхні, фазові зміни металу та електрохімічну характеристику перевіряли за допомогою оптичного мікроскопа, рентгенівської дифракції, потенціодинамічної поляризації та спектроскопії електрохімічного імпедансу. Мікроструктура переплетення кошика формується там, де відбувається глобуляризація на деяких фазах у міру збільшення часу старіння. Збільшення значення α повної ширини на половині максимуму корелює зі збільшенням кількості мартенситної фази α' . У міру того, як час старіння збільшується, температура може запропонувати більше рушійне обмеження для зародження та розширення пластинчастої фази (α). Старіння протягом 8 годин має найнижчу швидкість корозії, 0,0023 мпу, і найвищу корозійну стійкість, 90457 $\Omega\cdot\text{cm}^2$, завдяки частково бімодальній структурі та подрібненню зерна з найменшим розміром зерна 327,87 мкм. Результати поляризації за Тафелем показують, що всі пасивовані зразки стабільні в розчинній рідині. Ця робота може бути використана як відправна точка для розробки еволюції мікроструктури в титанових сплавах.

Ключові слова: ортопедичний імплантат, титановий сплав, час старіння, мікроструктура, стійкість до корозії.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.300489

ПОКРАЩЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕРМОСТАТИЧНИХ КОНДЕНСАТОВІДВІДНИКІВ ЗАСТОСУВАННЯМ ПРУЖИННИХ ЕЛЕМЕНТІВ З ЕФЕКТОМ ПАМ'ЯТІ ФОРМИ (с. 16–22)

В. І. Пилипчак, О. А. Єпіфанов, П. А. Пацурковський, Ю. О. Шаповалов

Об'єктом дослідження є деформаційно-силові характеристики пружинних елементів термостатичних конденсаторівідвідників з ефектом пам'яті форми. Проведені дослідження вирішують проблему, пов'язану з недосконалістю конструкції виконавчих органів конденсаторівідвідників та їх високою інерційністю.

Проведено експериментальні дослідження впливу швидкості охолодження пружинних силових елементів на деформаційно-силові характеристики. Експериментальні дослідження показали, що значний вплив швидкості охолодження пружинних силових елементів на деформаційно-силові характеристики спостерігається виключно в режимі наведення деформації при температурі $t \leq M_f$. За результатами експериментів встановлено, що зниження швидкості охолодження з 66,7 до 0,013 °C/с позитивно впливає на деформаційно-силові характеристики пружинного елемента.

Відмінною рисою роботи є дослідження впливу кроку намотування та термосилового циклування на деформаційно-силові характеристики пружинних елементів. Встановлено, що використання термосилового циклування дозволяє зменшити силу, необхідну для повного стиснення пружинного елемента, на 60 %. Інтенсивне зниження сили, необхідної для повного стиснення пружинних елементів, відбувається протягом перших 100 циклів термосилового циклування.

Представлено раціональну технологію термообробки пружинних елементів. Вона складається з наступних етапів: нагрівання до температури 400–500 °C протягом 1 години, витримка при цій температурі протягом години, охолодження зі швидкістю 0,013 °C/с, кількість циклів термосилового циклування не менше 100 з кроком намотування $8 \cdot 10^{-3}$ м. За результатами досліджень представлено вдосконалену конструкцію термостатичного конденсаторівідвідника з виконавчим елементом у вигляді циліндричної пружини стиснення зі сплаву ВСП-1 на основі титан-нікелевого сплаву.

Ключові слова: конденсаторівідвідник, пружинний елемент, ефект пам'яті форми, інерційність, термосилове циклування.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.295536

ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ МОДЕЛІ НАПРЯМКУ ЗВАРЮВАННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ МІЦНОСТІ НА РОЗРИВ З'ЄДНАНЬ ЗІ СТАЛІ ST 42 ШЛЯХОМ МОДЕЛЮВАННЯ ЗМІНИ СИЛИ СТРУМУ (с. 23–31)

Saripuddin M, Ariyanto, Sriwati, Muhammad Fathur Rahman

Процес зварювання грає найважливішу роль у зварювальній галузі, де в зоні з'єднання, що піддається зварюванню, відбуваються зміни структурних та механічних властивостей. У дослідженні проводиться порівняння сили струму і параметрів моделі спрямованого з'єднання зварюванням, що є важливим аспектом для усунення загальних недоліків у зварних з'єднаннях. Об'єктами дослідження є чотири рівні сили струму (100, 120, 140, 160 А) і три типи напрямків зварювання (поздовжнє, поперечне та комбіноване). Метою дослідження є визначення оптимального поєднання у зварних з'єднаннях, що дозволяє забезпечити максимальний коефіцієнт міцності на розрив. Метод дослідження включає випробування на розрив зразків різних типів з'єднань за певних рівнів сили струму.

Результати досліджень показують, що при рівні сили струму 120 А модель комбінованого спрямованого з'єднання зварюванням (поздовжнє+поперечне) забезпечує максимальну міцність на розрив, що досягає 335,370 МПа. Цей результат значно

перевершує значення міцності на розрив за інших рівнів сили струму і типів моделей зварювання, таких як 100 А (331,574 МПа), 140 А (332,315 МПа) та 160 А (332,685 МПа). Це відкриття підкреслює, що модель комбінованого з'єднання забезпечує істотне поліпшення міцності з'єднання, що робить її оптимальним рішенням для різних рівнів сили струму та моделей з'єднання.

Ключовою особливістю дослідження є конкретні рекомендації для зварювальної галузі, включаючи рекомендації щодо вибору оптимальних параметрів для підвищення міцності з'єднань на розрив. Моделі спрямованого з'єднання зварюванням можуть служити орієнтиром при розробці технічних умов зварювальних робіт для включення конструктивних елементів з використанням матеріалу ST 42. Дане дослідження вносить як теоретичний, так і практичний внесок, пропонуючи можливості для підвищення ефективності та конструктивної безпеки в процесі зварювання, що позитивно позначається на якості з'єднань в будівництві та виробництві.

Ключові слова: моделювання сили струму, модель спрямованого зварного з'єднання, міцність на розрив.