

ЗВАРЮВАЛЬНЕ ВИРОБНИЦТВО

УДК 621.791.03, 621.314.2, 621.316.727

doi: 10.31498/2225-6733.36.2018.142532

© Поднебенна С.К.¹, Бурлака В.В.²,
Гулаков С.В.³, Кисляк В.Г.⁴**МОДЕРНІЗАЦІЯ РОЗРИВНОЇ МАШИНИ 2167P-50 ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ
МІЦНОСТІ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ**

Метою роботи є модернізація розривної машини 2167P-50 та дослідження міцності зварних з'єднань при контактному зварюванні, що отримані в результаті зварювання на машині, що оснащена розробленим авторами пристроєм стабілізації тепловиділення. Розроблена принципова електрична схема блоку управління розривною машиною, створене спеціальне програмне забезпечення, яке дозволяє експортувати отримані результати в MS Excel. За допомогою модернізованої розривної машини проведені дослідження зварних з'єднань при роботі машини контактної зварювання із розробленим пристроєм стабілізації тепловиділення. В результаті проведених досліджень встановлено, що при внесенні ферромагнітних мас до зварювального кола відбувається зменшення міцності зварних з'єднань. Оснащення машин контактної зварювання розробленим пристроєм стабілізації тепловиділення дозволяє знизити вплив зміни опору зварювального кола, що призводить до збільшення міцності зварних з'єднань у порівнянні з роботою машини без означеного пристрою. Практична цінність запропонованого пристрою полягає у підвищенні якості зварних з'єднань за рахунок зменшення впливу зовнішніх збурень на процес зварювання.

Ключові слова: контактне зварювання, розривна машина, зварювальне коло, стабілізація тепловиділення.

Поднебенная С.К., Бурлака В.В., Гулаков С.В., Кисляк В.Г. Модернизация разрывной машины 2167P-50 для исследования прочности сварных соединений. Целью работы является модернизация разрывной машины 2167P-50 и исследование прочности сварных соединений при контактной сварке, полученные в результате сварки на машине, оснащенной разработанным устройством стабилизации тепловыделения. Разработана принципиальная электрическая схема блока управления разрывной машиной, создано специальное программное обеспечение, которое позволяет экспортировать полученные результаты в MS Excel. С помощью модернизированной разрывной машины проведены исследования сварных соединений при работе машины контактной сварки с разработанным устройством стабилизации тепловыделения. В результате проведенных исследований установлено, что при внесении ферромагнитных масс в сварочную цепь происходит уменьшение прочности сварных соединений. Оснащение машин контактной сварки разработанным устройством стабилизации тепловыделения позволяет снизить влияние изменения сопротивления сварочной цепи, что приводит к увеличению прочности сварных со-

¹ канд. техн. наук, доцент, докторант, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь, podsvet@gmail.com

² канд. техн. наук, доцент, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь, VladimirV.Burlaka@gmail.com

³ д-р техн. наук, професор, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь, gulakov_s_v@pstu.edu

⁴ майстер виробничого навчання, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь

єдинений по сравнению с работой машины без указанного устройства. Практическая ценность предлагаемого устройства заключается в повышении качества сварных соединений за счет уменьшения влияния внешних возмущений на процесс сварки.

Ключевые слова: контактная сварка, разрывная машина, сварочная цепь, стабилизация тепловыделения.

S.K. Podnebennaya, V.V. Burlaka, S.V. Gulakov, V.G. Kysliak. Upgrading of the 2167P-50 tensile machine for investigation of the strength of welded joints. The purpose of the work is to upgrade the 2167P-50 tensile machine and to investigate the strength of welded joints made by contact (resistance) welding, obtained by welding on a machine equipped with a developed heat energy stabilization device. The microcontroller based control unit for the tensile machine has been developed and built. The microcontroller software performs closed-loop speed control of the tensile machine DC drive built using half-controlled single phase bridge rectifier (two diodes + two thyristors), measurement of a tensile force using strain gauge, measurement of the clamp displacement using incremental optical encoder and transmitting the data to the PC via RS232 interface. Special PC software has been written that allows to export the results to MS Excel for further processing. With the help of an upgraded tensile machine, the welded joints made with a resistance welding machine with a developed heat stabilization device were tested. Heat stabilization device performs measurement of voltage and current of the primary winding of the welding transformer and, knowing the transformer parameters, calculates the active power dissipated in the contact (welding) area. This active power is then integrated giving the heat energy in the welding area, and compared against preset threshold value. When calculated energy exceeds threshold, the welding current is switched off – the welding cycle ends. As a result of the conducted investigations it was established that when ferromagnetic masses are put into the welding current loop, the strength of the welded joints decreases. The equipment of resistance welding machines with the developed heat stabilization device makes it possible to reduce the effect of changing the resistance of the welding circuit, which leads to an increase in the strength of welded joints compared to the operation of the machine without a specific device. The practical value of the proposed device is to improve the quality of welded joints by reducing the influence of external disturbances on the welding process.

Keywords: resistance welding machine, tensile machine, welding circuit, stabilization of heat energy.

Постановка проблеми. Ступінь впливу та вірогідність виникнення факторів, що негативно впливають на процес контактного зварювання, варіюються та можуть по-різному впливати на якість зварювання в залежності від режимів, умов зварювання, ступіню зносу обладнання та ін. [1]. При цьому показник якості зварних з'єднань (міцність, розміри литого ядра) є функцією багатьох змінних $f(\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4 \dots \varphi_n)$, де $\varphi_1 = Q_{ee}$ – енергія зварювання, $\varphi_2 = I_{3\phi}$ – зварювальний струм, $\varphi_3 = U_{ee}$ – напруга на електродах, $\varphi_4 = R_{ee}$ – опір ділянки «електрод-електрод», $\varphi_5 = F_{3\phi}$ – зусилля стиснення – параметри режиму зварювання та величини, що характеризують збурюючі впливи [1]. Одночасний вплив кількох збурюючих факторів може змінювати показник якості зварних з'єднань на величину

$$\Delta f \approx \frac{\partial f}{\partial \varphi_1} \Delta \varphi_1 + \frac{\partial f}{\partial \varphi_2} \Delta \varphi_2 + \frac{\partial f}{\partial \varphi_3} \Delta \varphi_3 + \dots + \frac{\partial f}{\partial \varphi_n} \Delta \varphi_n \quad (1)$$

і таким чином, навіть при малих $\Delta \varphi_i$ їх одночасний вплив може суттєво погіршити якість зварних з'єднань [1]. Тож проблема стабілізації зварювальних процесів, від протікання яких залежить якість нероз'ємних з'єднань при контактному точковому зварюванні, є актуальною та важливою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогоднішній день ведуться дослідження методів підвищення якості зварних з'єднань, серед яких більшість полягає у розробці систем управління з компенсацією відхилень та коливань напруги, зі стабілізацією зварювального струму та енергії, що виділяється у зварювальному контакті [1-8]. Ще одним відомим способом

управління контактним зварюванням є дилатометричний метод, що полягає у вимірюванні переміщення зварювальних електродів при протіканні через них заданої енергії [9].

Означені методи мають як переваги, так і недоліки. Наприклад, при розробці систем управління зі стабілізацією зварювального струму усувається вплив коливань напруги живлення, але вплив зміни опору вторинного кола повністю компенсувати не вдається. Більшість систем потребують вимірювання струму і напруги в зварювальному контакті [2, 3, 6], інші системи, що вимірюють параметри первинного кола, мають невелику точність [1, 4-6]. Основним недоліком дилатометричного методу є прецизійність вимірювань, що не завжди може бути застосовано в умовах промислового виробництва.

В [6, 7] авторами запропоновано спосіб та розроблено пристрій стабілізації тепловиділення (ПСТ), що має усувати вплив зовнішніх чинників, зокрема, зміни опору вторинного кола та коливань напруги мережі, на якість зварювання. При цьому оцінка ефективності розробленої системи проводилася за рахунок вимірювання первинного струму зварювального трансформатора та діаметра зварних точок.

Одним з методів визначення механічних властивостей, згідно з ГОСТ 6996-66 «Сварные соединения. Методы определения механических свойств», є випробування металу різних ділянок зварного з'єднання на статичне (короткочасне) розтягування. Методика визначення розмірів зразків, вимоги, що пред'являються до обладнання для випробувань, умови проведення випробувань і підрахунок результатів повинні відповідати ГОСТ 1497-84 «Металлы. Методы испытаний на растяжение». При цьому машини для дослідження матеріалів на розтягнення мають відповідати ГОСТ 28840-90 «Машины для испытания материалов на растяжение, сжатие и изгиб. Общие технические требования».

Подальші експерименти по оцінці міцності проводилися з використанням розривної машини 2167P-50, яка призначена для лабораторних випробувань пластмас, гуми, текстильних матеріалів, чорних та кольорових металів на розтягнення, стиск, вигин, малоциклову втому при нормальній температурі [10]. При цьому вимірювання навантаження на досліджуваному зразку відбувається за допомогою тензорезисторного силовимірювача з чотирма силовимірювальними датчиками. Конструкція та устрій машини дозволяють проводити дослідження з отриманням абсолютних значень зміни лінійних розмірів та діючих зусиль на досліджуваній зразок. Основним недоліком цієї машини є неможливість обробки результатів випробувань в режимі реального часу та складність обробки результатів експериментів.

Метою роботи є модернізація розривної машини 2167P-50 та дослідження міцності зварних з'єднань при контактному зварюванні, що отримані в результаті зварювання на контактній машині, що оснащена розробленим пристроєм стабілізації тепловиділення.

Виклад основного матеріалу. В ході проведення модернізації розривної машини 2167P-50 замінено штатний блок управління. Модернізований блок управління побудований на базі 8-розрядного мікроконтролера ATmega48, розмір вбудованої flash-пам'яті якого становить 48 кБ. Мікроконтролер працює з тактовою частотою 18432 кГц. Для оцифрування аналогових сигналів з тензодатчиків (R38 – R41), датчику струму та напруги використовується чотири канали 10-розрядного АЦП, який входить до складу мікроконтролера, з частотою дискретизації 15 кГц. Для організації передачі даних на персональний комп'ютер по інтерфейсу RS-232 використаний багатоканальний драйвер ST232B. Розроблена електрична принципова схема блоку управління розривної машини наведена на рис. 1.

Зовнішній вигляд блоку управління розривної машини наведений на рис. 2.

Управління основними параметрами розривної машини, отримання та обробка результатів вимірювань відбувається за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення на персональному комп'ютері. Отримані дані експортуються для зручності у програму MS Excel. Зовнішній вигляд машини із дослідним зразком наведений на рис. 3.

Дослідження якості зварних з'єднань з урахуванням можливості зміни індуктивності вторинного кола, що зазвичай відбувається в реальних умовах, імітується внесенням в процесі зварювання феромагнітної маси (ФМ), що представляє собою вите розрізне осердя з електротехнічної сталі, типу ПЛ 20x45, з двома діелектричними проміжками, з геометричними розмірами 20x6x45 мм (рис. 4, а). Досліджувана ФМ вносилося у зварювальне коло машин МТ-810 (рис.4, б) та МТ2202 (рис. 4, в).

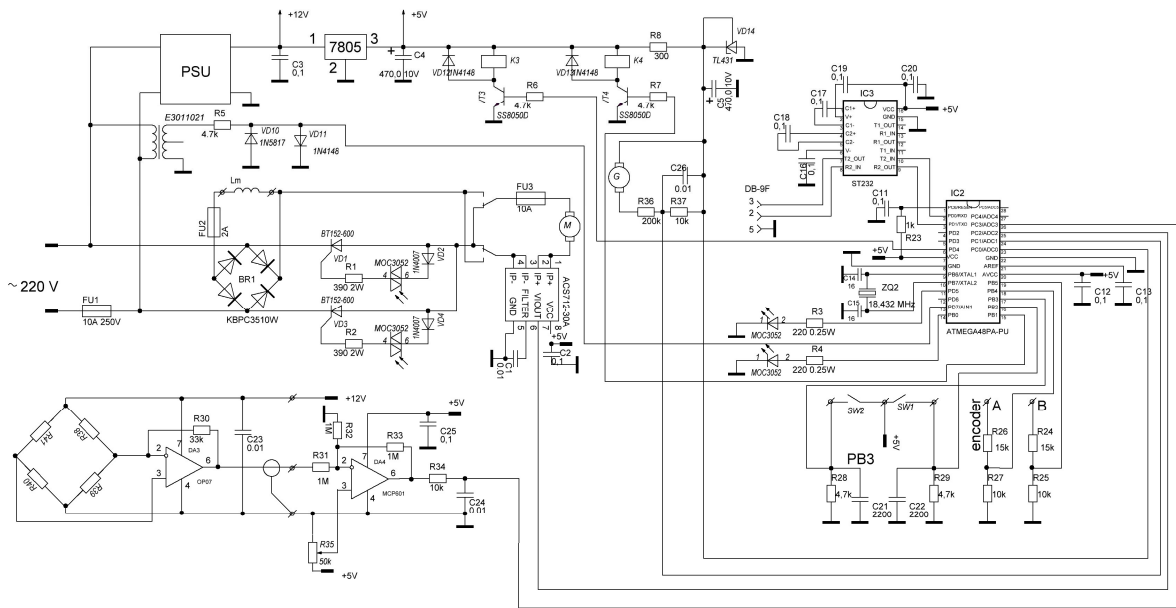


Рис. 1 – Електрична принципова схема блоку управління розривної машини

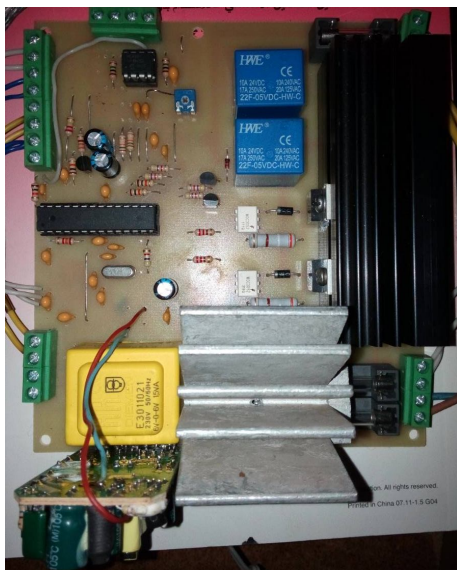


Рис. 2 – Загальний вигляд блоку управління розривної машини 2167P-50



Рис. 3 – Загальний вигляд розривної машини 2167P-50

Дослідження впливу ФМ, внесеної до зварювального кола, на якість зварювання проводилось наступним чином. Зварювальний струм був встановлений таким, що дорівнює 5 кА, час зварювання становив 1,12 с. Досліджувалась робота МКЗ МТ-810 з регулятором струму РС-403, робота машини МТ2202 з вбудованою системою стабілізації зварювального струму та робота машини МТ-810 з запропонованим ПСТ.

В першому випадку при внесенні до зварювального кола ФМ відбувалося зменшення зварювального струму у порівнянні з нормальним режимом зварювання на 20%. При цьому діаметр зварного з'єднання зменшувався, і міцність з'єднання була значно меншою за нормальний режим (табл.). При внесенні ФМ у зварювальне коло машини МТ2202 відбувалась стабілізація зварювального струму на заданому рівні, діаметр точки практично не змінився. Проте міцність зварного з'єднання, у порівнянні з нормальним режимом зварювання, зменшилася. При дослідженні роботи машини МТ-810, що оснащена ПСТ, було відмічено

зростання зварювального струму у порівнянні з нормальним режимом роботи, і міцність зварного з'єднання була збільшена у порівнянні з роботою МКЗ зі стандартним регулятором РЦС-403. Для кожного випадку було проведено по 10 дослідів. Усереднені результати зусиль розтягування та фотографії зварних точок після розриву наведені у таблиці.

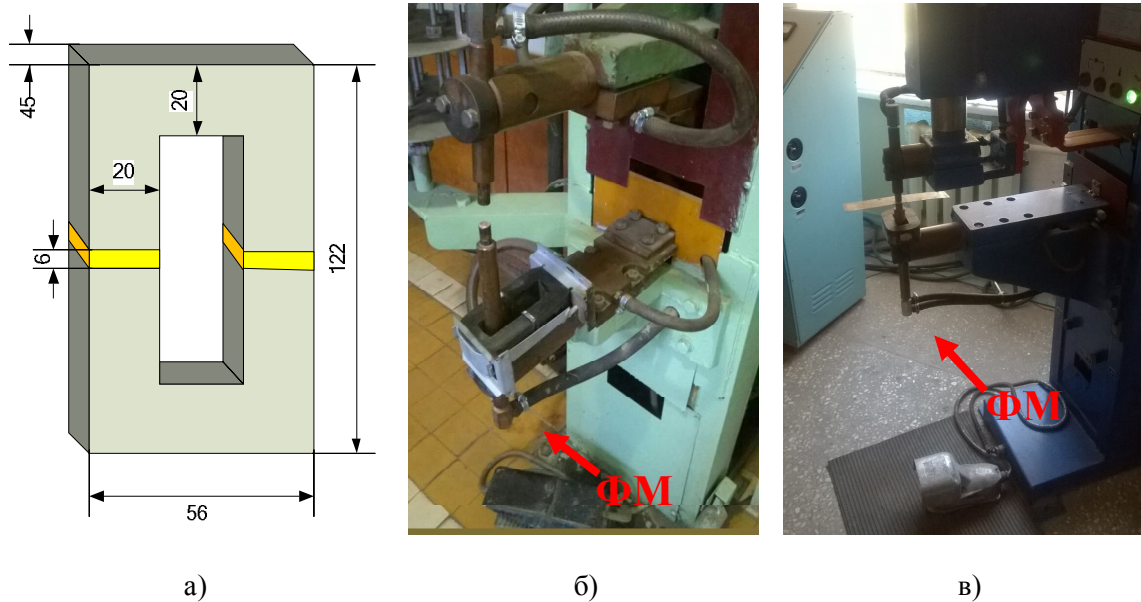


Рис. 4 – Конструкція ФМ (а), та зовнішній вигляд машини МТ-810 з ФМ у зварювальному колі (б) та машини МТ2202 з ФМ при зварюванні (в)

Таблиця

Фото зварних точок після розриву та відповідні зусилля розтягування

	Зусилля, кгс					
	МТ-810		МТ2202		МТ-810 + ПСТ	
Нормальний режим						
	600±20		610±18		580±10	
Внесення ФМ						
	530±30		570±15		580±10	

В результаті досліджень доведено, що міцність зварного з'єднання, отриманого при роботі машини під час внесення ФМ, зменшується, у порівнянні із нормальним режимом. Використання запропонованого ПСТ дозволяє зменшити вплив феромагнітних мас на опір зварювального кола, що підтверджується збільшеною міцністю, а дозування енергії, що виділяється у зварювальному контакті, дозволяє забезпечити більш ефективний режим зварювання.

Висновки

Проведена модернізація розривної машини 2167Р-50, що дозволяє досліджувати механічні характеристики зварних з'єднань згідно існуючих стандартів. Розроблене програмне забезпечення дозволяє імпортувати отримані результати до MS Excel, що значно покращує

точність та зручність подальшої обробки отриманих результатів.

Проведені дослідження нероз'ємних з'єднань металу, що отримані при роботі МКЗ з розробленим пристроєм стабілізації тепловиділення, із використанням модернізованої розривної машини 2167Р-50. Доведена ефективність використання ПСТ при внесенні ФМ у зварювальне коло.

Список використаних джерел:

1. Климов А.С. Контактная сварка. Вопросы управления и повышения стабильности качества / А.С. Климов. – М. : Физматлит. – 2011. – 216 с.
2. Поляков А.Ю. Система автоматического управления процессом контактной рельефной сварки / А.Ю. Поляков, С.М. Фурманов, Т.И. Бендик // Вестник Белорусско-Российского университета. – № 4 (41). – 2013. – С. 75-84.
3. Руденко П.М. Система автоматического управления и контроля процесса контактной точечной сварки КСУ КС 02 / П.М. Руденко, В.С. Гавриш // Автоматическая сварка. – 2007. – № 11. – С. 43-45.
4. Климов В.С. Стабилизация тока контактной сварки в условиях износа электродов / В.С. Климов, А.С. Климов, А.К. Кудинов // Евразийский Союз Ученых (ЕСУ). Технические науки. – № 10 (19). – 2015. – С. 72-74.
5. Пат. 2424097 РФ, МПК В 23 К 11/24. Способ стабилизации тепловыделения при контактной точечной сварке / А.С. Климов, А.В. Комиренко, В.С. Климов, А.Н. Анциборов. – № 2009141021/02; заявл. 05.11.09; опубл. 20.07.11, Бюл. № 20. – 6 с.
6. Поднебенная С.К. Автоматизированная система управления источником питания машины контактной сварки / С.К. Поднебенная, В.В. Бурлака, С.В. Гулаков // Вісник Приазовського державного технічного університету : Зб. наук. пр. / ДВНЗ «ПДТУ». – Маріуполь, 2016. – Вип. 33. – С. 131-141. – (Серія : Технічні науки).
7. Пат. 115735 Україна, МПК В 23 К 11/24. Спосіб стабілізації тепловиділення при контактному зварюванні / С.К. Поднебенна, В.В. Бурлака, С.В.Гулаков. – № а201610332; заявл. 10.10.16; опубл. 11.12.17, Бюл. № 23. – 6 с.
8. Current and force control in micro resistance welding machines. Review and development / O. Bondarenko, Iu. Bondarenko, P. Safronov, V. Sydorets // 8th IEEE International Conference on Compatibility and Power Electronics (CPE). – Ljubljana, 2013. – Pp. 298-303. – Mode of access: DOI:10.1109/CPE.2013.6601173.
9. Застосування дилатометричного ефекту для автоматизації контактної зварювання / О.Ф. Бондаренко, А.Г. Дубко, В.М. Сидорець, Ю.В. Бондаренко // Технологія і конструювання в електронній апаратурі. – 2017. – № 6. – С. 14-21.
10. Бурлака В.В. Модернизация оборудования для испытания сварных соединений на примере разрывной машины 2167Р-50 / В.В. Бурлака, В.Г. Кисляк // Университетская наука-2017 : Междунар. науч.-техн. конф. : сб. тр. – Мариуполь : ГВУЗ «ПГТУ», 2017. – Т. 2. – С. 137-138.

References:

1. Klimov A.S. *Kontaktnaya svarka. Voprosy upravleniya i povysheniya stabil'nosti kachestva* [Resistance welding. Management issues and improve quality stability]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2011. 216 p. (Rus.)
2. Polyakov A.Y., Furmanov S.M., Bendik T.I. Sistema avtomaticheskogo upravleniia protsessom kontaktnoi rel'efnoi svarki [The automatic control system of the contact projection welding process]. *Vestnik Belorussko-Rossiiskogo universiteta – Bulletin of Belarusian-Russian University*, 2013, vol. 4, no. 41, pp. 75-84. (Rus.)
3. Rudenko P.M., Gavrish V.S. Sistema avtomaticheskogo upravleniia i kontrolia protsessa kontaktnoi tochechnoi svarki KSU KS 02 [The automatic control system of the resistance spot welding process KSU KS 02]. *Avtomaticheskaja svarka – Automatic welding*, 2007, vol. 11, pp. 43-45. (Rus.)
4. Klimov V.S., Klimov A.S., Kudinov, A.A. Stabilizatsiia toka kontaktnoi svarki v usloviikh iznosa elektrodov [Stabilization of current of resistance welding in electrodes wearing conditions]. *Evrasiiskii Soiuz Uchenykh (ESU). Tekhnicheskie nauki – Eurasian Union of Scientists (ESU). Technical science*, 2015, vol. 10, no. 19, pp. 72-74. (Rus.)

5. Klimov A.S., Komirenko A.V., Klimov V.S., Antsiborov A.N. *Sposob stabilizatsii teplovydeleniia pri kontaktnoi tochechnoi svarke* [The method of heat stabilizing at resistance spot welding]. Patent RU, no. 2424097, 2011. (Rus.)
6. Podnebennaya S.K., Burlaka V.V., Gulakov S.V. *Avtomatizirovannaia sistema upravleniia istochnikom pitaniia mashiny kontaktnoi svarki* [Automatic Control System of Power Supply for Resistance Welding Machine]. *Vestnik Priazovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriia: Tekhnicheskie nauki – Reporter of the Priazovskyi State Technical University. Section: Technical sciences*, 2016, vol. 33, pp. 131-141. (Rus.)
7. Podnebennaya S.K., Burlaka V.V., Gulakov S.V. *Sposib stabilizatsii teplovidilennia pri kontaktnomu zvariuvanni* [Method of stabilization of heat emission in resistance welding]. Patent UA, no. 115735, 2017. (Ukr.)
8. Bondarenko O., Bondarenko Iu., Safronov P., Sydorets V. Current and force control in micro resistance welding machines. Review and development. Proceedings of 8th IEEE International Conference on Compatibility and Power Electronics (CPE), Slovenia, Ljubljana, 2013, pp. 298-303. **doi:10.1109/CPE.2013.6601173.**
9. Bondarenko O.F., Dubko A.H., Sydorets V.M., Bondarenko Iu.V. *Zastosuvannia dilatometrichnogo efektu dlia avtomatizatsii kontaktnogo zvariuvannia* [Applying of dilatometric effect for resistance welding automation]. *Tekhnologiya i konstruirovannia v elektronnoi apparature – Technology and design in electronic equipment*, 2017, vol. 6, pp. 14-21. (Ukr.)
10. Burlaka V.V., Kisliak V.G. *Modernizatsiia oborudovannia dlia ispytanniia svarnykh soedinenii na primere razryvnoi mashiny 2167R-50. Anotatsii dopovidei Mizhn. nauk.-tekhn. konf. "Universitetskaia nauka-2017"* [Modernization of equipment for testing welded joints using the example of the breaking machine 2167P-50. Abstracts of Int. Sci.-Tech. Conf. "University science-2017"]. *Mariupol'*, 2017, vol. 2, pp. 137-138. (Rus.)

Рецензент: В.І. Щегініна
д-р техн. наук, проф., ДВНЗ «ПДТУ»

Стаття надійшла 19.02.2018

УДК 669.045:669.046.581.2

doi: 10.31498/2225-6733.36.2018.142533

© Коваленко І.В.*

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ДВУХСЛОЙНОЙ СТАЛИ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СУДОВЫХ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ

В статье представлены основные подходы к выбору двухслойных материалов, применяемых для производства судовых вспомогательных механизмов. В современном широком спектре конструкционных материалов, комбинированные сварные конструкции из двухслойных сталей могут различаться между собой по характеру распределения в них материалов легирования, соответствию свариваемых сталей условиям работы и областям применения. Особую группу судовых комбинированных конструкций составляют двухслойные конструкции, в которых из легированных сталей изготавливаются не отдельные детали, а лишь их поверхностные слои, непосредственно примыкающие к агрессивной среде или к источнику интенсивного износа. Такие конструкции широко применяются в судостроении, а также при изготовлении судовых энергетических установок.

Ключевые слова: *двухслойная сталь, легирующие элементы, коррозионная стойкость, прочность, сварной шов, судовые механизмы, энергетические установки.*

* канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Азовский морской институт», г. Мариуполь, ivankovalenko165@gmail.com