

ЗВАРЮВАЛЬНЕ ВИРОБНИЦТВО

УДК 621.791.927

doi: 10.31498/2225-6733.39.2019.201051

© Гулаков С.В.¹, Псарьова І.С.², Бурлака В.В.³**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ФОРМУВАННЯ НА ПОВЕРХНІ
ВИРОБУ ШАРУ ЗМІННОГО ХІМІЧНОГО СКЛАДУ**

Розглянута можливість формування на поверхні виробу шляхом наплавлення шару змінного хімічного складу з регламентованим розподілом властивостей. Ця задача вирішується за рахунок використання дугового наплавлення стрічковим електродом, яке забезпечує мінімальну долю участі основного металу у шві, а також включення в процесі формування робочого шару дуговим наплавленням технології дугового напилення, що дозволяє вводити у зварювальну ванну додаткові легуючі елементи. Запропоновано варіант конструкції металізатора, який дозволяє керувати хімічним складом напиленого металу за рахунок використання двох електродів різного хімічного складу, при цьому металізатор має можливість роздільного регулювання швидкостей подачі цих електродів. Регулюючи співвідношення швидкостей їх подачі, забезпечивши при цьому на постійному рівні сумарну масову швидкість їх плавлення (подачі), можна змінювати хімічний склад напиляного шару. В роботі наведені схеми реалізації процесу напилення шару змінного хімічного складу.

Ключові слова: металізатор, напилення, електродугове наплавлення, змінний хімічний склад, якість наплавлення, зварювальна дуга.

Гулаков С.В., Псарьова І.С., Бурлака В.В. Совершенствование технологии формирования на поверхности изделия слоя переменного химического состава. Рассмотрена возможность формирования на поверхности изделия путем наплавки слоя переменного химического состава с регламентированным распределением свойств. Эта задача решается за счет использования дуговой наплавки ленточным электродом, которая обеспечивает минимальную долю участия основного металла в шве, а также включение в процессе формирования рабочего слоя дуговой наплавкой технологии дугового напиления, которое дает возможность вводить в сварочную ванну дополнительные легирующие элементы. Предложен вариант конструкции металлизатора, который позволяет управлять химическим составом напиленного металла за счет использования двух электродов различного химического состава, при этом металлизатор имеет возможность раздельной регулировки скоростей подачи этих электродов. Регулируя соотношение скоростей их подачи, обеспечив при этом на постоянном уровне суммарную массовую скорость их плавления (подачи), можно изменять химический состав напиленного слоя. В работе приведены схемы реализации процесса напиления слоя переменного химического состава.

Ключевые слова: металлизатор, напиление, электродуговая наплавка, переменный химический состав, качество наплавки, сварочная дуга.

¹ д-р техн. наук, професор, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь, gulakov_s_v@pstu.edu

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

³ д-р техн. наук, доцент, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь, VladimirV.Burlaka@gmail.com

S.V. Gulakov, I.S. Psareva, V.V. Burlaka. Improvement of technology of variable chemical composition layer formation on the product surface. The possibility of forming on the surface of the product by arc deposition a layer with variable chemical composition with a predefined distribution of properties is considered. With the arc deposition of a layer of variable chemical composition, there are some difficulties for obtaining its high quality realization caused by the influence of the molten base metal of the welding pool on the distribution of chemical elements along the length of the deposited layer. When surfacing such layers with the use of ceramic alloying fluxes, there is a limit on the number of alloys that are introduced into the welding pool from the flux without impairing of the surfacing quality. This problem is solved through the use of arc surfacing with a tape electrode, which provides a minimum share of the base metal in the weld, as well as the inclusion of arc spraying technology during the formation of the working layer by arc surfacing, which makes it possible to introduce additional alloying elements into the weld pool. Currently, the process of arc spraying is carried out at equal feed rates of the electrodes in the metallizer. The electrodes have the same chemical composition and the electric arc is supplied with direct or alternating current. A variant of the metallizer design is proposed, which allows controlling the chemical composition of the deposited metal through the use of two electrodes of different chemical composition, while the metallizer has the ability to separately control the feed rates of these electrodes. By adjusting the ratio of the feed rates, while ensuring at a constant level the total mass rate of their melting (feed), one can change the chemical composition of the sprayed layer. The paper presents schemes for the implementation of the metal arc spraying process of a layer with variable chemical composition.

Keywords: metallizer, spraying, electric arc surfacing, variable chemical composition, surfacing quality, welding arc.

Постановка проблеми. Передчасний знос деталей машин та інструменту, випадковий (нерегламентований) характер профілю їх зношування призводять до зниження продуктивності агрегатів, якості продукції, що виробляється, підвищенню витрат на ремонтні та відновлювальні роботи; до зростання енергетичних витрат [1-3]. Вирішити дану проблему можна шляхом формування на робочій поверхні деталей та інструменту дуговим наплавленням зносостійкого шару з регламентованим розподілом властивостей [4]. Це дасть можливість забезпечити заданий характер зношування робочої поверхні в процесі експлуатації деталей: більш рівномірний або з гарантованою нерівномірністю, що обумовлює збереження потрібного профілю поверхні при її зношуванні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Одним з перспективних напрямків виготовлення і зміцнення робочої поверхні деталей машин і інструменту є формування шару змінного хімічного складу шляхом зміни під час дугового наплавлення за заданою програмою рівня легування валика, що наплавляється [5, 6].

Питанням вивчення особливостей формування наплавленого металу змінного хімічного складу присвячений ряд робіт, виконаних в різних областях зварювального виробництва: виготовлення зразків для оцінки технологічних властивостей металу швів, вибір оптимальних складів електродних матеріалів [7-9], виготовлення перехідних елементів для зварювання різномірних сталей і сплавів [10, 11], управління технологічною міцністю при зварюванні [12], виробництво деталей електротехнічної промисловості – резисторів і потенціометрів зі змінним опором [13], наплавлення шарів з регламентованим розподілом властивостей [4, 14].

Вибір оптимального технологічного варіанту наплавлення шару змінного хімічного складу в кожному окремому випадку диктується розмірами і формою деталей, що наплавляються, необхідною закономірністю зміни властивостей металу, наявністю відповідного обладнання та матеріалів, економічною доцільністю. Для способів наплавлення, при яких розміри зварювальної ванни перевищують довжину перехідної зони від одного складу до іншого, необхідно враховувати перемішування наплавленого металу з основним, обсяг ванни і інші чинники, що визначають швидкість зміни хімічного складу при дискретній зміні марки електродних матеріалів [15]. При цьому важливу, а часом і визначальну, роль у формуванні наплавленого шару змінного хімічного складу грають методи легування металу зварювальної ванни.

Мета роботи. Удосконалити технологію формування на поверхні виробу шару з регламентованим розподілом властивостей дуговим наплавленням з попереднім дуговим напиленням на цю поверхню шару змінного хімічного складу.

Виклад основного матеріалу. При дуговому наплавленні шару змінного хімічного складу виникає ряд труднощів для його якісної реалізації [4]: вплив об'єму зварювальної ванни, участі основного металу на розподіл хімічних елементів по довжині валика, що наплавляється. При наплавленні таких шарів з використанням керамічних легуючих флюсів має місце обмеження кількості легуючих, що вводяться у зварювальну ванну з флюсу без погіршення якості наплавки.

Усунути певною мірою вказані недоліки можливо за рахунок використання дугового наплавлення стрічковим електродом, яке забезпечує мінімальну долю участі основного металу у шві, а також включення в процесі формування робочого шару дуговим наплавленням технології дугового напилення, що дозволяє вводити у зварювальну ванну додаткові легуючі елементи.

В даний час процес дугового напилення здійснюється при рівних швидкостях подачі в металізаторі електродів однакового складу і живленні дуги від джерела постійного або змінного симетричного струму [1, 16]. Для управління хімічним складом напилюваного шару необхідно встановити в металізатор два електроди різного хімічного складу. Металізатор повинен мати можливість роздільного регулювання швидкостей подачі електродів. Регулюючи співвідношення швидкостей їх подачі, забезпечивши при цьому на постійному рівні сумарну масову швидкість їх плавлення (подачі), можна змінювати хімічний склад напилюваного шару [4]. Однак, при зменшенні швидкості подачі одного електрода і збільшенні другого, дуга почне переміщатися в бік струмопідвідного наконечника першого електрода, і процес горіння дуги та напилення порушиться.

Усунути цей недолік можна, використовуючи залежність швидкості плавлення електрода від його полярності [17], з якої видно, що швидкості плавлення електродів при прямій і зворотній полярностях різняться в 1,5-2 рази. Тому при зміні співвідношення швидкостей подачі різномірних за складом електродів треба керувати скважністю (відношенням T/τ на рис. 1) змінного струму дуги так, що велика тривалість позитивної напівхвилі напруги прикладається до електрода з меншою швидкістю подачі і навпаки.

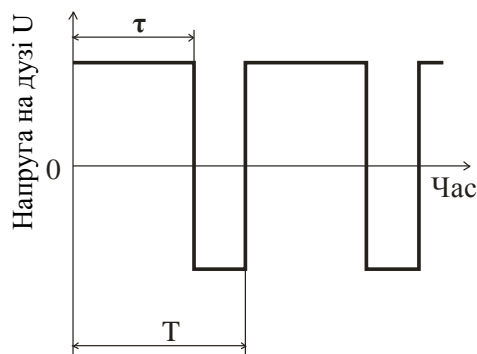


Рис. 1 – Напряга на дузі при напиленні шару змінного хімічного складу

Суть запропонованого пояснюється кресленням, де на рис. 2 представлена схема дугового напилення двома електродми різного хімічного складу, що подаються в зону горіння дуги з різними швидкостями $V_{\text{под1}}$ та $V_{\text{под2}}$, які визначаються швидкостями обертання валів двигунів М1 та М2.

Управління роботою цих двигунів здійснюється блоком керування. Одночасно зі зміною швидкостей подавання електродів блок керування регулює скважність змінної напруги для живлення дуги.

Перевірка запропонованого способу проведена наступним чином. Напилення здійснювали на пластину розміром $200 \times 400 \times 20$ мм зі сталі Ст.3 з використанням лабораторної установки, оснащеної електродуговим металізатором з можливістю роздільного регулювання швидкостей подавання електродів.

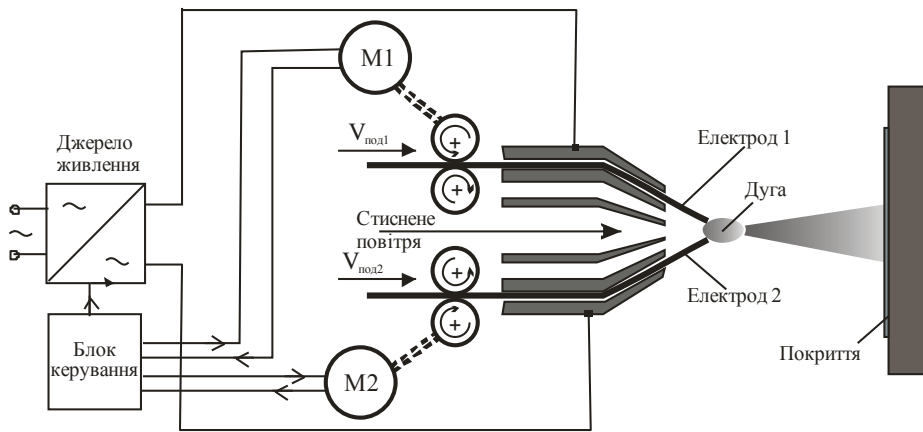


Рис. 2 – Схема дугового напilenня

Живлення дуги здійснюється від тиристорного джерела ВДУ-504, на виході якого встановлено силовий мостовий каскад для швидкого перемикання полярності струму дуги. Структурна схема електричної частини установки наведена на рис. 3.

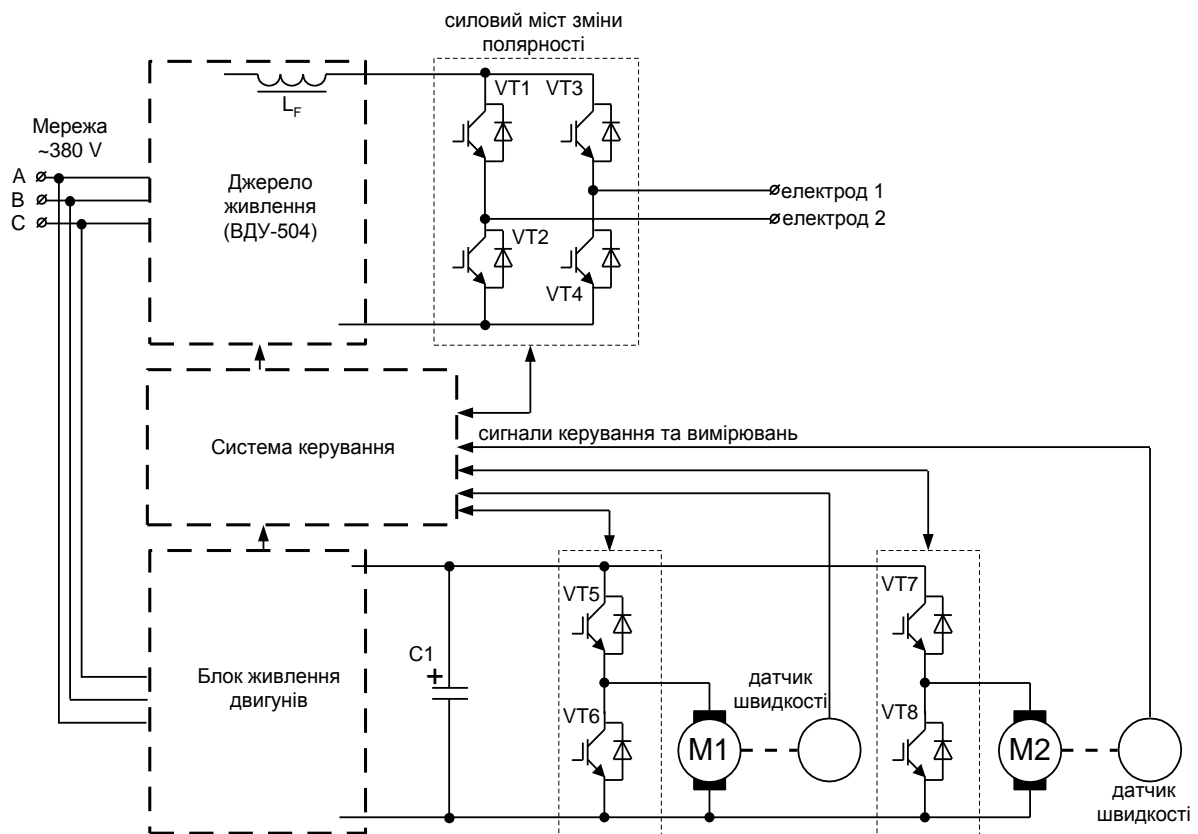


Рис. 3 – Структурна схема електричної частини установки

Застосування силових транзисторів (VT1–VT4, рис. 3) є необхідним для забезпечення недопущення деіонізації дугового проміжку, тобто швидкість зміни струму дуги під час перемикання полярності має бути якнайбільшою. Використано два силових модуля Mitsubishi CM400DY-24NF, кожний з яких містить два IGBT з максимальним тривалим струмом 400 А і максимальною робочою напругою 1200 В. Керування затворами IGBT виконано з використанням спеціалізованих оптично розв'язаних драйверів FOD3184. Формування керуючих імпульсів, вимірювання напруг, струмів, швидкостей, температур здійснюється від

однокристалного мікроконтролера STM32F100R8T6, який має необхідний набір периферійних модулів на борту (12-бітний АЦП, таймери з режимами формування ШІМ сигналів).

Подача електродних дротів здійснюється двома приводами постійного струму з двигунами М1 та М2. Живлення якірних ланцюгів виконано від двох напівмостових DC/DC перетворювачів (VT5, VT6 та VT7, VT8, рис. 3), виконаних на силовій мікросхемі IRAMS10UP60B від International Rectifier. Її застосування дозволило зменшити кількість компонентів в схемі, оскільки вона містить вбудовані драйвери затворів силових транзисторів і схеми їх захисту від підвищеного струму.

Стабілізація швидкості двигунів здійснюється за рахунок введення зворотного зв'язку за швидкістю. Датчики швидкості застосовані оптичні, на інфрачервоних оптопарах з відкритим оптичним каналом типу TCYS5201.

Величина струму дуги встановлюється джерелом живлення ВДУ-504, а тривалість дії однієї та іншої полярності – мікроконтролером. В системі керування також виконано вимірювання напруги на дуговому проміжку і корекція швидкостей подачі електродних дротів для забезпечення стабільного горіння дуги і недопущення збільшення її довжини (тобто зростання напруги на дуговому проміжку між електродами).

Встановлення різних величин позитивної і негативної напівхвилі струму дуги неможливе з-за низької швидкодії тиристорного джерела ВДУ-504 і наявності вихідного дроселя (L_F , рис. 3) з відносно великою індуктивністю. Для зняття вищезазначеного обмеження необхідно використання інверторного джерела зварювального струму з високою швидкістю реакції на зміну струму завдання.

Електрична схема установки також містить ланцюг обмеження перенапруг на силових транзисторах зміни полярності струму дуги (на рис. 3 не показаний), який запобігає пробою силових транзисторів під час перехідних процесів при їх переключенні. Виникнення перенапруг при переключенні пояснюється наявністю індуктивності зварювальних кабелів, які з'єднують струмопідводи до електродних дротів з виходом силового транзисторного мосту.

В якості електродів використані: порошковий дріт ПП-АН106 діаметром 3,2 мм та дріт марки Св-08А діаметром 3 мм. Основні параметри режиму напилення: струм дуги – 280-320 А; Напруга на дузі – 34-36 В; дистанція напилення – 140 мм; тиск розпилюючого струменя повітря – 0,50...0,55 МПа.

Напилення здійснювали при різному співвідношенні швидкостей подавання вказаних вище електродів. Результати експериментів наведені в таблиці і показують можливість напилювати шари змінного хімічного складу.

Таблиця

Вплив параметрів режиму напилення на склад напиленого шару

Скважність	Співвідношення швидкостей подавання електродів	Вміст хрому в напиленому шарі, %
1,43	0,3	4,2
2	0,5	3,0
3,33	0,7	0,9

Слід відзначити, що процес напилення відбувався стабільно, дуговий процес не переривався.

Таким чином, запропонований спосіб дозволить формувати дуговим напиленням на поверхнях деталей та інструменту шари з регламентованим розподілом властивостей.

Висновки

1. Запропоновано новий спосіб формування дуговим напиленням на робочій поверхні шару змінного хімічного складу.

2. Запропоновано при регулюванні швидкостей подавання електродів різного хімічного складу одночасно змінювати скважність змінної напруги джерела живлення дуги таким чином, що велика тривалість позитивної напівхвилі напруги прикладається до електрода з меншою швидкістю подачі і навпаки.

3. Розроблено автоматизоване устаткування для дугового напилення шару змінного хімічного складу.

Перелік використаних джерел:

1. Хасуи А. Наплавка и напыление / А. Хасуи, О. Мorigаки; Пер. с яп. под ред. В.С. Степина, И.Г. Шестеркина. – М. : Машиностроение, 1985. – 240 с.
2. Цеков В.И. Ремонт деталей металлургических машин / В.И. Цеков. – М. : Металлургия, 1979. – 320 с.
3. Боль А.А. Индукционная наплавка деталей в сельскохозяйственном машиностроении / А.А. Боль, С.П. Лесков // Наплавка. Опыт и эффективность применения. – Киев : ИЭС им. Е.О. Патона. – 1985. – С. 72-75.
4. Гулаков С.В. Наплавка рабочего слоя с регламентированным распределением свойств / С.В. Гулаков, Б.И. Носовский. – Мариуполь : ПГТУ, 2005. – 170 с.
5. Лещинский Л.К. Технология наплавки опорных валков с переменной по длине бочки твердостью / Л.К. Лещинский, Б.И. Носовский, С.В. Гулаков // Автоматическая сварка. – 1976. – № 7. – С. 71-72.
6. Шварцер А.Я. Методика программирования наплавки слоя переменного химического состава / А.Я. Шварцер // Автоматическая сварка. – 1977. – № 9. – С. 41-43.
7. Новожилов Н.М. Изготовление и применение в машиностроении сплавов переменного химического состава / Н.М. Новожилов. – М. : Машиностроение, 1987. – 80 с.
8. Новожилов Н.М. Использование металла переменного химического состава при анализе сплавов / Н.М. Новожилов, Ю.С. Ткаченко, К.В. Смирнов // Технология, организация производства и управления. – М. : ЦНИИЭИинформэнергомаш, 1980. – С. 25-27.
9. Аносов Н.П. Ускоренная оценка радиационной стойкости швов в зависимости от химического состава / Н.П. Аносов, Т.М. Кричевец, Н.М. Новожилов // Автоматическая сварка. – 1982. – № 6. – С. 62-63.
10. Медовар Б.И. Новые способы изготовления переходных элементов для сварки разнородных сталей / Б.И. Медовар // Автоматическая сварка. – 1967. – № 10. – С. 12-14.
11. Bennett A.P. Prediction and control of composition profiles in graded transition joints / A.P. Bennett // Metals and Materials. – 1972. – № 3. – Pp. 146-149.
12. Якушин Б.Ф. Управление структурой и технологической прочностью при сварке / Б.Ф. Якушин // Труды МВТУ. – 1984. – № 405. – С. 125-134.
13. Никитенко З.Л. Получение сплава с переменным удельным электрическим сопротивлением / З.Л. Никитенко, В.П. Стойко, А.Я. Шварцер // Автоматическая сварка. – 1980. – № 10. – С. 70-71.
14. Методика расчета процесса легирования швов переменного химического состава / Л.К. Лещинский, Н.Н. Дитвин, С.Г. Иванов, А.И. Василенко // Автоматическая сварка. – 1983. – № 11. – С. 27-29.
15. Шварцер А.Я. Основные принципы электрошлаковой наплавки металла переменного химического состава / А.Я. Шварцер // Теоретические и технологические основы наплавки. Новые процессы механизированной наплавки. Под ред. И.И.Фрумина. – Киев : ИЭС, 1977. – С. 102-108.
16. Хокинг М. Металлические и керамические покрытия. Получение, свойства и применение / М. Хокинг, В. Васантакри, П. Сидки; Пер. с англ. Э.М. Лазарева и др. под ред. Р.А. Андриевского. – М. : Мир, 2000. – 518 с.
17. Ерохин А.А. Основы сварки плавлением. Физико-химические закономерности / А.А. Ерохин. – М. : Машиностроение, 1973. – 448 с.

References:

1. Khasui A., Morigaki O. *Naplavka i napylenie* [Surfacing and spraying]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1985. 240 p. (Rus.)
2. Tsekov V.I. *Remont detalei metallurgicheskikh mashin* [Repair of parts of metallurgical machines]. Moscow, Metallurgiiia Publ., 1979. 320 p. (Rus.)
3. Bol' A.A., Leskov S.P. *Induktsionnaia naplavka detalei v sel'skokhoziaistvennom mashinostroenii* [Induction surfacing of parts in agricultural engineering]. *Naplavka. Opyt i effektivnost' primene-*

- niia – Surfacing. Experience and effectiveness*, 1985, pp. 72-75. (Rus.)
4. Gulakov S.V., Nosovskii B.I. *Naplavka rabocheho sloia s reglamentirovannym raspredeleniem svoistv* [Deposition of a working layer with a regulated distribution of properties]. Mariupol', PSTU Publ., 2005. 170 p. (Rus.)
 5. Leshchinskii L.K., Nosovskii B.I., Gulakov S.V. *Tekhnologiiia naplavki opornykh valkov s peremennoi po dlina bochki tverdost'iu* [The technology of surfacing of backup rolls with variable hardness along the length of the barrel]. *Avtomaticheskaiia svarka – Automatic Welding*, 1976, no. 7, pp. 71-72. (Rus.)
 6. Shvartser A.Ia. *Metodika programmirovaniia naplavki sloia peremennogo khimicheskogo sostava* [Programming technique for surfacing a layer of variable chemical composition]. *Avtomaticheskaiia svarka – Automatic Welding*, 1977, no. 9, pp. 41-43. (Rus.)
 7. Novozhilov N.M. *Izgotovlenie i primenenie v mashinostroenii splavov peremennogo khimicheskogo sostava* [Production and use in mechanical engineering of alloys of variable chemical composition]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1987. 80 p. (Rus.)
 8. Novozhilov N.M., Tkachenko Iu.S., Smirnov K.V. *Ispol'zovanie metalla peremennogo khimicheskogo sostava pri analize splavov* [The use of metal of variable chemical composition in the analysis of alloys]. *Tekhnologiiia, organizatsiia proizvodstva i upravleniia – Technology, organization of production and management*, 1980, pp. 25-27. (Rus.)
 9. Anosov N.P., Krichevets T.M., Novozhilov N.M. *Uskorennaiia otsenka radiatsionnoi stoi kosti shvov v zavisimosti ot khimicheskogo sostava* [Accelerated assessment of radiation resistance of joints depending on chemical composition]. *Avtomaticheskaiia svarka – Automatic Welding*, 1982, no. 6, pp. 62-63. (Rus.)
 10. Medovar B.I. *Novye sposoby izgotovleniia perekhodnykh elementov dlia svarki raznorodnykh stalei* [New methods for manufacturing transition elements for welding dissimilar steels]. *Avtomaticheskaiia svarka – Automatic Welding*, 1967, no. 10, pp. 12-14. (Rus.)
 11. Bennett A.P. *Prediction and control of composition profiles in graded transition joints*. *Metals and Materials*, 1972, no. 3, pp. 146-149.
 12. Iakushin B.F. *Upravlenie strukturoi i tekhnologicheskoi prochnost'iu pri svarke* [Welding structure and process strength control]. *Trudy MVTU – Proceedings of MVTU*, 1984, no. 405, pp. 125-134. (Rus.)
 13. Nikitenko Z.L., Stoiko V.P., Shvartser A.Ia. *Poluchenie splava s peremennym udel'nym elektric - eskim soprotivleniem* [Obtaining an alloy with variable electrical resistivity]. *Avtomaticheskaiia svarka – Automatic Welding*, 1980, no. 10, pp. 70-71. (Rus.)
 14. Leshchinskii L.K., N.N. Ditvin N.N., Ivanov S.G., Vasilenko A.I. *Metodika rascheta protsessa legirovaniia shvov peremennogo khimicheskogo sostava* [Method for calculating the process of alloying welds of variable chemical composition]. *Avtomaticheskaiia svarka – Automatic Welding*, 1983, no. 11, pp. 27-29. (Rus.)
 15. Shvartser A.Ia. *Osnovnye printsipy elektroshlakovoi naplavki metalla peremennogo khimicheskogo sostava* [Basic principles of electroslag surfacing of metal of variable chemical composition]. *Teoreticheskie i tekhnologicheskie osnovy naplavki. Novye protsessy mekhanizirovannoi naplavki – Theoretical and technological foundations of surfacing. New mechanized surfacing processes*, 1977, pp. 102-108. (Rus.)
 16. Khoking M., Vasantasri V., Sidki P. *Metallicheskie i keramicheskie pokrytiia. Poluchenie, svoistva i primenenie* [Metal and ceramic coatings. Obtaining, properties and application]. Moscow, Mir Publ., 2000. 518 p. (Rus.)
 17. Erokhin A.A. *Osnovy svarki plavlaniem. Fiziko-khimicheskie zakonomernosti* [Basics of fusion welding. Physicochemical laws]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1973. 448 p.

Рецензент: С.В. Щетинін
д-р техн. наук, проф., ДВНЗ «ПДТУ»

Стаття надійшла 08.10.2019