

УДК 621.791.01

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2023.103.0.139

## НОВІ ЕЛЕКТРОДИ ДЛЯ НАПЛАВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ, ЩО ПРАЦЮЮТЬ В УМОВАХ АБРАЗИВНОГО ЗНОШУВАННЯ З ПОМІРНИМ УДАРНИМ НАВАНТАЖЕННЯМ

Багров В. А.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

**Анотація.** Мета роботи – удосконалення електродного покриття з метою виробництва зварювальних електродів, що використовуються для наплавлення деталей, які працюють в умовах абразивного зношування з помірним ударним навантаженням. Застосування складу цього електродного покриття дає змогу проводити наплавлення сталевих деталей у понад два шари й чавунних – в один шар. Вміст компонентів покриття зварювальних електродів мармуру становить 6–8 %, плавикового шпату 4–6 %, графіту 5,5–6,6 %, ферохрому 58,5–70,5 %, силікомангану 3–5 %, феротитану 1–2 %, карбиду бору 5,5–6,5 %, соди 0,5–1,5 %, слюди 4–6 %, що підвищує довговічність деталей, які працюють в умовах ударно-абразивного зношування, удвічі–утричі. Технічний результат досягається завдяки запропонованому складу електродного покриття, що забезпечує високі зварювально-технологічні властивості електрода та якість наплавленого металу. Це дає змогу робити багатошарове електродугове наплавлення деталей, що працюють в умовах абразивного зношування з помірним ударним навантаженням.

**Ключові слова:** сталь, наплавлення, електрод, компоненти, система легування.

### Вступ

Створення технологій захисту деталей машин від зношування та відновлення зношених деталей є актуальним завданням сучасного матеріалознавства – галузі, спрямованої на розширення ресурсів деталей конструкцій. Одним із рішень є обґрунтування вибору матеріалів, що використовуються в технологічному процесі армування або санації з метою зниження технологічних витрат. Відновлення початкових розмірів деталей і зміцнення їх поверхні відбувається завдяки нанесенню на поверхню металу шару, що відрізняється від основного за механічними властивостями. Існує багато матеріалів для покриття поверхні, зокрема дріт із порошковим покриттям (PD). Сорти припоїв на основі Ni, Co, W вивчено в різних абразивних умовах і продемонстровано їх ефективність. Це високоцінні матеріали, які сприяють створенню більш дешевих систем без зниження зносостійкості [1, 2]. Перспективними для наплавлення вважаються сплави на основі заліза (системи C-Cr-B-Fe). Їх вартість значно нижча, але зносостійкість залишається високою за різних абразивних умов.

### Аналіз публікацій

Зношування – найпоширеніший і потужний процес, що обмежує надійну роботу тришарнірних з'єднань і фрикційних втулок.

Сумарні фізичні втрати під час експлуатації швидкозношуваних деталей, згідно з

показниками, наведеними в базовій довідці [3], розподіляються таким чином: фізичне (моральне) зношування становить 15 %; через інциденти – 15 %; решта 70 % припадає на поверхневі пошкодження, зокрема 55 % зношування й 15 % корозію.

Як правило, 25 % зношування поверхні відбувається через різання, а 30 % – через стирання.

Хоча було припущено, що до 50 % проблем, пов'язаних із зношуванням, спричинені стиранням [4].

Зношування – це руйнування деталі після її взаємодії з твердими частинками з відносною швидкістю.

Компоненти металургійного обладнання, частини сільського господарства, дорожнього будівництва, гірничого обладнання, машин і транспортного обладнання, металорізальних верстатів, шасі літаків, робочих коліс і обладнання, напрямні гідравлічних турбін, лопатей газових турбін, водозберігальних труб і котлів, бурового обладнання, газова та газоплитна промисловість, підшипники суднових карданних змішувачів тощо можуть підлягати зношуванню.

Тому питання оптимізації матеріалів зношених деталей для зменшення їх адгезії, особливо зношування, є дуже важливим і актуальним для сучасного машинобудування.

Одним із способів збільшення ресурсу рухомих з'єднань машин є науково обґрунтований вибір зносостійких матеріалів із

сприятливими комплексними механічними властивостями за зносостійкістю, структурою, будовою.

У зварювальному виробництві широко відомі склади покриттів, наприклад, електроди марок ОЗН-6, Т-520, ОЗШ-8 тощо, а також сертифіковані авторські склади електродів, які містять мармур, графіт, ферохром, карбід бору, різні алюмосилікати (шахтний струмінь, слюда, тальк), соду, калієво-натрієве рідке скло та ін.

#### Мета та постановка завдання

Метою роботи є створення електродів для поверхонь деталей, що працюють в абразивних умовах з помірними ударними навантаженнями, з поліпшенням зварювальних і технологічних характеристик електрода, а також підвищення якості поверхні металу, що гарантовано зміною розкислення, системою захисту від газів розплавленого металу компонентами електродного покриття.

#### Матеріали та методика дослідження

Заявлена технологія виготовлення електродів з покриттям не відрізняється від відомих технологій.

Як електродні стрижні використовували зварювальний дріт марки Св08 або Св08А ДСТУ 2246.

Для визначення якості наплавленого металу та технологічних характеристик зварювання електрода проводили багат шарове поверхнєве наплавлення пластин завтовшки 20 мм і завдовжки 100 мм зі сталі марки «Сталь 20».

#### Результати досліджень

Для оптимізації системи розкислення та газощлакової системи в склад покриття електродів, що містить графіт ГЛ-1 ДСТУ 5279-74, ферохром ДСТУ 4757 і карбід бору ДСТУ 5744, додають силікоманган ДСТУ 16591.4:2009, мармур ДСТУ 4416, феротитан ДСТУ 4761, ДСТУ соду 5100, слюду ДСТУ 14327 і плавиковий шпат ДСТУ 4421 у такому співвідношенні компонентів покриття, мас. %:

Мармур	5–9
Плавиковий шпат	5–7
Графіт	5,8–6,7
Ферохром	58,4–70,6
Силікоманган	3,2–5,1
Феротитан	1,1–2,1
Карбід бору	5,4–6,6
Сода	0,3–1,6

Слюда 4,1–6,2

Новим винаходом є додавання до складу покриття мармуру 6–8 %, флюориту 4–6 %, силікомарганцю 3–5%, феротитану 1–2 %, соди 0,5–1,5 %, а також зниження вмісту ферохрому до 58,5–70,5 %.

Суттєва різниця в складі заявленого покриття полягає в невідомому використанні марганцю, кремнію та феротитану як розкислювачів і мармуру, флюориту, карбонату натрію та слюди як газоутворювальних інгредієнтів, а також зменшення вмісту ферохрому, що забезпечує додаткове розкислення й легування металу з'єднання, підвищення його якості та відсутність тріщин у металі шва.

Використання силікомарганцю, ферохрому, графіту, карбіду бору та феротитану як компонентів покриття наплавних електродів для легування наплавленого металу, що працює в абразивних умовах із помірними ударними навантаженнями, у рекомендованих пропорціях ще не встановлено та дає новий ефект: знижує ймовірність появи тріщин у разі багат шарового наплавлення та дає змогу стабільно досягати необхідної твердості металу шва НRC 61-62, запобігаючи утворенню тріщин у перехідній зоні та металі шва.

Водночас забезпечується належна якість наплавленого металу й високі технологічні та зварювальні властивості електрода.

Оптимальний вміст силікомарганцю, ферохрому, графіту, карбіду бору та феротитану в покритті необхідний для формування нової системи наплавлених металевих сплавів *C-Si-Mn-Cr-B-Ti* оптимального складу.

Кремній, що міститься в силікомарганцю, необхідний для розкислення рідкої ванни під час наплавлення й знижує розчинність вуглецю в залізі, оскільки міжатомні зв'язки його із залізом міцніші порівняно з вуглецем, що сприяє зменшенню ширини мартенситного шару.

Вміст феротитану, що має високу спорідненість до кисню, сприяє очищенню феритової матриці завдяки утворенню оксидів і в такий спосіб підвищує міцність металу шва й перехідної зони проти утворення тріщин і пор.

Крім того, титан захищає наплавлений метал від надмірного окислення, полегшуючи процес переходу хрому в наплавлений метал із меншим вмістом у складі електродного покриття.

Вміст силікомарганцю та феротитану в кількостях менших ніж 3 і 1 % відповідно призводить до збільшення твердості наплавлено-

го металу в перехідній зоні та підвищує ймовірність утворення тріщин.

Вміст силікомарганцю та феротитану понад 5 і 2 % відповідно призводить до погіршення зварювальних і технологічних властивостей електрода через недостатню кількість в компонентах покриття, а також спричиняє утворення газових пор і шлакових включень; твердість наплавленого шару буде знижуватися, як і якість металу шва через забруднення металу неметалевими домішками. Вміст у складі електродного покриття мармуру, флюориту, соди та слюди в кількості 6–8, 4–6, 0,5–1,5 і 4–6 % відповідно забезпечує оптимальний захист від газошлакових включень під час наплавлення високолегованих сплавів. Утворений шлак має хорошу повітропроникність, необхідну в'язкість і гарну роздільну здатність, що забезпечує можливість багатшарового наплавлення без необхідності шарового очищення шлаку. У разі зниження вмісту мармуру, флюориту, соди та слюди до менше ніж 6, 4, 0,5 і 4 % відповідно захист металу шва погіршується, а метал має тенденцію до утворення пористості. Якщо збільшиться вміст мармуру, флюориту, соди та слюди до 8, 6, 1,5 і 6 % відповідно, підвищується схильність розплавленого металу до утворення шлаку, погіршується здатність до відділення шлаку та збільшується його в'язкість.

Отже, компоненти, що містяться в покритті мармур, флюорит, графіт, ферохром, силікомарганець, феротитан, карбід бору, соду та слюду, впливають на підвищення якості наплавленого металу й поліпшення зварювальних властивостей розроблених електродів.

Технологія виготовлення покритих електродів не відрізняється від відомої [6].

Як електродні стрижні використовується зварювальний дріт Св08 або Св08А ГОСТ 2246.

Зроблено п'ять варіантів електродів із близьким до дослідного покриттям та проведено відповідні дослідження їх властивостей.

Виготовлені варіанти електродів наведено в табл. 1.

Результати технологічних випробувань дослідних електродів і дослідних зразків подано в табл. 2.

Для визначення якості наплавленого металу й зварювально-технологічних властивостей електродів виконано багатшарове наплавлення на пластині завтовшки 20 мм і завдовжки 100 мм із сталі марки «Сталь 20».

Результати перевірки властивостей технології зварювання та якості наплавленого металу показують, що композиція покриття варіантів 2, 3 і 4 є оптимальною. Це забезпечує високу якість наплавленого металу (відсутність тріщин і отворів), шарів із підвищеною твердістю. Зварювальні технологічні характеристики електродів достатньо хороші в наплавленні деталей, що працюють в абразивних умовах з помірними ударними навантаженнями. Електродне покриття варіантів 1 і 5, що містять відповідно зменшену та збільшену кількість заявлених компонентів, не гарантує досягнення поставленої мети. Спостереження за абразивною зносостійкістю проводилось на установці, розробленій автором, по жорстко закріпленому абразиву. Наплавлення виконувалося на стрижні діаметром 10 мм і завдовжки 50 мм у мідній оправці дослідними електродами і Т-590, Т-620. У процесі експерименту навантаження на зразки дорівнювало 30 Н, час випробування становив 30 хв. Результати дослідження наведені на рис. 1.

Таблиця 1 – Склад покриття електродів

Компоненти покриття	Вміст компонентів, мас % (за варіантами електродів)					
	Прототип	1	2	3	4	5
Мармур	-	5,5	6	7	8	8,5
Плавииковий шпат	-	4,5	4	5	6	6,5
Графіт	5	5	5,5	6	6,5	7
Ферохром	90	73,6	70,5	65	58,5	54
Силікоманган	-	2,5	3	4	5	5,5
Феротитан	-	0,5	1	1,3	2	2,5
Карбід бору	5	5	5,5	6	6,5	7
Сода	-	0,4	0,5	0,7	1,5	2
Слюда	-	3	4	5	6	7

Таблиця 2 – Результати технологічних випробувань електродів

Варіант електрод-рода	Зварювально-технологічні властивості	Кількість пор на 100 мм шва, шт.	Твердість наплавленого металу, HRC	Кількість тріщин на 100 мм шва, шт.
Прото-тип	Формування шва задовільне, схильні до утворення пор і тріщин. Обробка шва утруднена.	5	57	3
1	Формування шва задовільне, схильність до утворення пор і тріщин низька. Обробка шва задовільна.	2	64	1
2	Формування шва добре, схильність до утворення пор і тріщин низька. Обробка шва хороша.	немає	62	немає
3	Формування шва відмінне, не схильні до утворення пор і тріщин. Обробка шва хороша.	немає	63	немає
4	Формування шва хороше, не схильні до утворення пор і тріщин. Обробка шва хороша.	немає	61	немає
5	Формування шва задовільне, схильні до утворення зашлаковок. Обробка шва хороша.	3 зашлаковки	55	немає

Еталомом прийнятий метал, наплавлений електродом Т590.

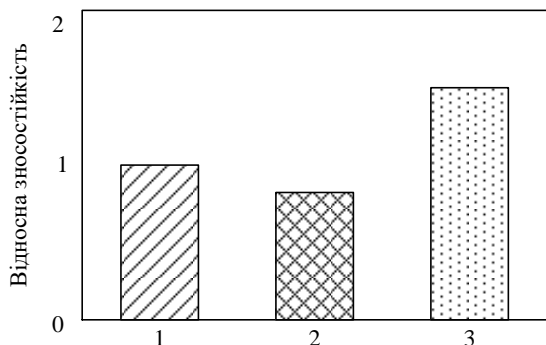


Рис. 1. Відносна зносостійкість досліджуваних електродів: 1 – Т-590; 2 – Т-620; 3 – розроблені електроди

Як бачимо, відносна зносостійкість розроблених електродів в 1,2–1,3 раза перевищує зносостійкість електродів Т-590 та в 1,4–1,6 раза – зносостійкість електродів Т-620.

На розроблений склад покриття досліджених електродів отримано патент на корисну модель (Склад електродного покриття: пат. № UA 105547 U, Україна: код МПК<sup>7</sup> B23K 35/365. № 2015 09080; заявл. 21.09.2015; опубл. 26.03.2016. Бюл. № 6. 6 с.)

### Висновки

Використання описаних у статті компонентів у певних комбінаціях і співвідношеннях

у покриттях гарантує досягнення цілей високих зварювально-технічних властивостей електроду та якості наплавленого металу. Це дає змогу виконувати багатоповне електродугове наплавлення для деталей, що експлуатуються в умовах зношування з помірними ударними навантаженнями.

### Література

1. Зенкін М.А. Системний підхід до вибору захисних покриттів при виготовленні та відновленні деталей. *Вісник Інженерної академії України*. 2007. № 3–4. С. 230–232.
2. Зенкін М.А., Василенко І.Ю. Обґрунтування вибору зміцнюючих покриттів відповідальних деталей машин. *Вісник КНУТД*. 2012. № 6 (68). С. 69–76.
3. Hawk J.A. et al. Abrasive wear faibres. *ASM Handbook. Materials Park, CH, ASM International*. 2002. № 11. Р. 906–921.
4. Nuchtings I.M. Abrasion in wear and manufacturing processes. *Metal. Ital*. 2002. Vol. 94. № 2. Р. 17–21.
5. Електроди для наплавлення. URL: <https://plasmatec-weld.com.ua/catalog/elektrody/naplavk> (дата звернення: 10.10.2023).
6. Технологія виготовлення електродів для зварювання. URL: <https://uacredity.com/yak-organizuvati-virobnicztvo-elektrodov-dlya-zvarguvannya> (дата звернення: 19.10.2023).

### References

1. Zenkin, M.A. (2007). A systematic approach to the selection of protective coatings in the manufacture and restoration of parts. *Bulletin of*

- the Engineering Academy of Ukraine*, no. 3–4, pp. 230–232.
- Zenkin, M.A., Vasylenko, I.Yu. (2012). Justification of the choice of reinforcing coatings of important machine parts. *Bulletin of KNUTD*, no. 6 (68), pp. 69–76.
  - Hawk, J.A. et al. (2002). Abrasive wear fibers. *ASM Handbook. Materials Park, CH, ASM International*, no. 11, pp. 906–921.
  - Nuchtings, I.M. (2002). Abrasion in wear and manufacturing processes. *Metal. Ital.* 94, no. 2, pp. 17–21.
  - Electrodes for surfacing. URL: <https://plasmatec-weld.com.ua/catalog/elektrody/naplavk> (access date: 10.10.2023).
  - Technologies for manufacturing electrodes for welding. URL: <https://uacredity.com/yak-organizuvati-virobnicztvo-elektrodiv-dlya-zvaryuvannya> (access date: 10/19/2023).

**Багров Валерій Анатолійович**, к.т.н., доцент кафедри технології металів та матеріалознавства, тел. 057-707-37-29, e-mail: [havetabanca@ukr.net](mailto:havetabanca@ukr.net). Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, 61002, Україна.

#### **New electrodes for fusion of parts which work in abrasive conditions with moderate shock load**

**Abstract. Problem.** The problem - ensuring high welding and technological properties of the electrodes and the quality of the deposited metal, which allows for multi-layer electric arc welding of parts operating in conditions of abrasive wear with moderate impact load. **Goal.** The work purpose - creation of electrodes for surfacing parts operating in conditions of abrasive wear with moderate shock loads with improved welding and technological properties of electrodes and improvement of the quality of the surfacing metal, which are provided due to changes in the deoxidation system, alloying, slag and gas protection system weld metal components of the electrode coating. **Methodology.** An analysis of the working conditions of parts and assemblies during abrasive wear and surfacing materials was carried out to increase the durability of these assemblies. A literature review and a patent information search made it possible to identify surfacing materials that work under conditions of abrasive shock-abrasive

wear. As a result, a technique and production of surfacing electrodes capable of working in shock-abrasive and abrasive wear conditions was proposed. **Results.** The results of testing the welding-technological properties and the quality of the deposited metal show that the coating composition of options 2, C and 4 is optimal, which ensures high quality of the deposited metal (absence of cracks, pores, reduction of the width of the layer with increased hardness, reduction of hardness) good welding-technological properties properties of electrodes during welding of parts operating under conditions of abrasive wear with moderate impact load. The electrode coating of options 1 and 5, containing, respectively, a reduced and increased number of claimed components, does not ensure the achievement of the set goal. Thus, the use of the specified components in the coating in a certain combination and certain proportions ensure the achievement of the set goal - high welding and technological properties of the electrode and the quality of the deposited metal, allow you to make a multilayer electric arc for depositing parts that work in conditions of abrasive wear with a moderate shock load. **Originality.** The composition of the electrode coating containing graphite, ferrochrome, and boron carbide, which is distinguished by the fact that it additionally contains marble, fluorspar, silicomanganese, ferrotitanium, soda and mica with the following ratio of coating components, wt. %: marble 6–8, fluorspar 4–6, graphite 5.5–6.5, ferrochrome 58.5–70.5, silicomanganese 3–5, ferrotitanium 1–2, boron carbide 5.5–6.5, soda 0.5–1.5, mica 4–6. **Practical value.** The proposed composition ensures high welding-technological properties of the electrode and the quality of the deposited metal, which allows for multi-layer electric arc welding of parts operating under conditions of abrasive wear with moderate impact load.

**Key words:** steel, surfacing, electrode, components, alloying system.

**Bagrov Valeriy**, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor of the Department of Technology of Metals and Materials Science, Phone: 057-707-37-29, e-mail: [havetabanca@ukr.net](mailto:havetabanca@ukr.net). Kharkov National Automobile and Highway University, Str. Yaroslava Mudrogo, 25, Kharkov, 61002, Ukraine.