

УДК 621.923

## ПІДВИЩЕННЯ ТВЕРДОСТІ НАПЛАВЛЕНЬ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЕТАЛЕЙ ЕКОНОМНИМ МІКРОЛЕГУВАННЯМ

*В. М. ВЛАСОВЕЦЬ, Р. В. РІДНИЙ, Р. В. АНТОЩЕНКОВ*

*Харківський національний технічний університет сільського господарства  
ім. Петра Василенка*

Встановлено доцільність підвищення твердості наплавлень відновлюваних деталей, виконуваних під шаром флюсу, з використанням як легувального додатку до нього зольних відходів теплової електростанції. Оптимізовано дозований додаток золи в стандартний флюс. Досліджено фізико-механічні властивості металу наплавлення та металографічно – його структурний стан. Виявлено, що з введенням у стандартний флюс оптимальної дози (5...7%) зольних відходів утворюється дрібнозернистіша структура, а також зменшуються кількість і розміри неметалевих включень. Запропонований метод забезпечує збільшення твердості поверхневого шару на 18...23% і мікротвердості – на 15...20%, внаслідок чого підвищується термін служби відновлених деталей, а отже, і якість ремонту виробів. Крім того, описана технологія наплавлень дає можливість, у більшості випадків, вилучати додаткові технологічні операції.

**Ключові слова:** *відновлювані деталі, твердість наплавлень, мікротвердість, легувальні добавки, флюс, зольні відходи, включення, структура.*

The feasibility of improvement of the surfacing hardness of the restored details, performed under a flux layer using as an alloying element in the flux of ash waste of thermal power plant is established. Optimization of the dosed additive of ash in standard flux is performed. Physicomechanical properties of the metal of surfacing of the surface layer are investigated and metallographic study of its structural state is performed. It is shown that the introduction in standard flux of the optimal dose (5...7%) of ash waste of thermal power plant contributes to the formation of more fine-grained structure, as well as reduces the number and size of nonmetallic inclusions. The proposed economic direction of increasing hardness of the surfacing provides an increase of the surface layer by 18...23% and the microhardness over its depth by 15...20%. As a result the service life of the restored details is longer and the quality of the repair of products is better. In addition, the proposed technology of the welding, in most cases, allows us to eliminate additional manufacturing operations.

**Keywords:** *details to be restored, hardness of welding, microhardness, alloying additives, flux, ash wastes, inclusions, structure.*

**Вступ.** Ремонт машин залишається важливим завданням машинобудування, який можна значно здешевити, відновлюючи деталі, що вийшли з ладу. Економічна доцільність капітального ремонту автомобілів обумовлена [1] можливістю повторно використовувати (після відновлення) до 70% деталей; 10–15-кратно знизити витрати металу та 5–10-кратно – виробничі грошові затрати; зменшити вдвічі собівартість готового виробу. Інтерес до ремонту машин і відновлення зношених поверхонь наплавленням невідмінно зростає [2].

Зносотривкість наплавлень визначають, головню, їх хімічний склад і структурний стан. Перспективним залишається економне легування і модифікування наплавлень деталей, відновлюваних під шаром флюсу, шляхом додавання до нього легувальних компонентів, які містяться у відходах деяких виробництв. Тому

---

*Контактна особа:* Р. В. РІДНИЙ, e-mail: ruslanridn@gmail.com

важливо сформувати склад матеріалу наплавлень, забезпечити необхідний структурний стан і поліпшити властивості.

Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона для підвищення стійкості швів і покриттів до утворення пор розробив керамічний флюс-додаток марки АНК-3, який застосовують у суміші з плавленими флюсами АН-348А, ОСЦ-45, АН-60 тощо. Відомі пропозиції про використання відходів різних виробництв для виготовлення флюсів, які здешевлюють процес, не знижуючи якість. Виявили [3], що сировинну базу виробництва флюсів та покриттів електродів можна суттєво розширити, вживаючи відходи хімічної, оборонної, вітамінної та інших галузей промисловості. Шляхи застосування шлакоутворених сумішей для виробництва і відновлення деталей описані раніше [4]. Досліджено [5] перспективи використання в складі зварювального флюсу відходів сірчанокислого виробництва, що містять оксиди ванадію.

Під час легування і мікролегування спеціальними додатками у флюс як сировину для них можна застосовувати відходи певних видів виробництв (гірничовидобувних, коксохімічних, енергетичних тощо), які містять легувальні та модифікувальні компоненти [6]. Зокрема, карбідоутворювальні елементи (Mo, Ti, V тощо), навіть у невеликих кількостях (0,1...0,3%), сприяють зародженню додаткових центрів кристалізації в розплавленому металі наплавлень, що призводить до подрібнення його зерна, підвищення твердості та міцності [7], а модифікувальні (Mg, Ca, Ce тощо) – зниженню концентрації шкідливих домішок і частковому формуванню їх глобулярних включень [8]. Таким чином, додаючи до флюсу домішки, можна підвищити твердість наплавлень [9].

Мета дослідження – поліпшити твердість наплавлень, що наносять на зношені поверхні деталей з мало-, середньовуглецевих або низьколегованих сталей металургійним способом. Для цього використовували звичайні низьколеговані наплавлювальні дроти і стандартний флюс, до якого під час мікролегування і модифікування наплавлень додавали зольні відходи теплової електростанції.

**Методологія досліджень.** Для випроб підготували матеріали і композиції, з яких виготовили дослідні зразки наплавлень. За результатами механічних випробувань визначали фізико-механічні властивості наплавлень, а за даними металографічних – їх структурний стан. Твердість поверхні вимірювали методом Брінелля та Роквелла. Для замірів за Брінеллем застосовували кульки  $\varnothing 5$  і  $10$  mm. Мікротвердість наплавлень досліджували за ДСТУ ISO 6507-1:2007 приладом ПМТ-3 за вдавлення алмазного індентора під навантаженням  $50$  g. Про рівень твердості і мікротвердості робили висновок за середніми значеннями з п'яти вимірів. Методом рентгеноструктурного аналізу фіксували дисперсні включення карбонітридів Ti та V. Дослідження здійснювали на установці ДРОН-3 у випромінюванні хромового анода з ванадієвим фільтром на відбитому пучку ( $U = 25$  kV;  $I = 30$  mA).

Оптимізували частку легувального додатка зольних відходів у флюс. Під час виготовлення дослідних зразків використали недефіцитний низьколегований наплавлювальний дріт марки Нп-30ХГСА  $\varnothing 1,6$  mm і флюс АН-348А. З ділянок наплавлень з різними частками зольних додатків у флюс вирізали зразки для вивчення твердості, мікротвердості та мікроструктури.

**Результати досліджень.** Очевидно, що на хімічний склад, структуру і фізико-механічні властивості наплавлень впливають використовувані композиції і дроту, і флюсу. При цьому твердість і хімічний склад наплавлення найчастіше залежать від складу наплавлювального дроту і металу відновлюваної деталі, а ударна в'язкість – від складу флюсу [10]. Встановили, що для отримання необхідної ударної в'язкості наплавлення необхідно забезпечити дрібне зерно і низь-

кий вміст шкідливих домішок і неметалевих включень, що досягають легуванням та мікролегуванням.

Металургійне легування здійснюють різними шляхами: застосовуючи легований дріт або стрічку і звичайний флюс; порошкову стрічку або дріт; звичайний дріт або стрічку і легувальний флюс. Однак за відсутності специфічних вимог до властивостей наплавлень найекономніше вживати звичайний дріт і легувальні флюси. Тоді необхідних фізико-механічних властивостей досягають, додаючи до флюсу легувальні компоненти, які, потрапляючи в рідкий метал наплавлення, можуть суттєво підвищити його твердість.

Для ремонту і механізованого нанесення наплавлень найчастіше застосовують висококремнієві марганцеві флюси АН-348А і АН-348АМ і низьковуглецеві низьколеговані наплавлювальні дроти Нп-30ХГСА, Пп-Нп-30Х5Г2СМ, Нп-40Х3Г2МФ, Нп-40Х2Г2М тощо. Їх переваги – відносно низька вартість і задовільна технологічність, але наплавлення, виконані ними, недостатньо тверді (35...38 HRC). Водночас за технологічними умовами для відновлювальних поверхонь рухомих з'єднань деталей типу “стрижні круглі” (вали, осі, штоки тощо), які працюють в умовах рідинного та напіврідинного тертя, необхідно забезпечити твердість не нижче 40 HRC. На практиці для цього використовують або додаткові технологічні операції (найчастіше – термообробку, що потребує підвищених енерговитрат), або дорогі наплавлювальні матеріали.

Пошук шляхів економного легування вказав на можливість використання зольних відходів теплових електростанцій, в складі яких виявили легувальні та модифікувальні елементи. З допомогою спектрометра МФС-6 визначили їх хімічний склад після виплавлення зразків: 19,3...20,0% Fe; 12,7... 14,2% Al; 1,92,0% Mg; 0,6...1,0% Cu; 0,45...0,6% Mn; 0,12...0,15% Cr; 1,2...1,5% Ti; 1,2...1,7% V; 3,9...4,4% Ce; 0,02...0,04% S; 0,02...0,03% P; решта – Si. Вивчали можливість застосування золи від спалювання антрацитового вугілля на Зміївській тепловій електростанції Харківської області як легувального додатку у флюс. Відомо, що під час легування флюсом втрачається до 15...20% легувальних елементів. Однак їх кількість у зольних відходах достатня для мікролегування наплавлень.

Зольні відходи після висушування і прожарювання при 350°C подрібнювали, сортували на ситах і відокремлювали фракції з розміром зерен 0,5...3,0 mm, що відповідали розмірам гранул стандартного флюсу. Їх об'ємна вага становила 1,55 g/cm<sup>3</sup>, а флюсу АН-348А – 1,65 g/cm<sup>3</sup>. Таким чином, різниця не перевищувала 7%. Відібрану кількість золи ретельно перемішували з відповідною порцією флюсу. Приготували чотири порції флюсу з 5; 10; 15 і 20% золи від загальної маси вихідного флюсу. Як контрольний використали стандартний флюс АН-348А.

Оптимізували кількість легувального додатку і режими нанесення наплавлень, використовуючи як математичне планування багатофакторного експерименту [11], так і однофакторні моделі. Вхідними параметрами були концентрація золи (%), сила струму і швидкість переміщення дуги. Вихідним – твердість поверхневого шару наплавлень. Виявили, що частка додатку досить суттєво впливає на твердість наплавлень. Режими нанесення (сила струму і швидкість переміщення дуги) відчутно на їх якість не впливали, як і за традиційної технології нанесення під шаром флюсу. Тому нижче наведені результати досліджень однофакторних моделей.

Для експериментальних досліджень і відпрацювання параметрів технології наплавлення флюс наносили на спеціальні зразки – циліндричні заготовки діаметром 55 mm зі сталі 40X – аналога матеріалу вала коробки передач трактора Т-150. Наплавлювали на спеціально обладнаній установці УД-209, що містила токарний верстат і комплект приладів для автоматичного нанесення наплавлень під шаром флюсу.

Виявили (рис. 1) суттєвий вплив кількості додатку у флюс на твердість наплавлень. Всі залежності твердості (отримані різними способами) подібні з чітким оптимумом на ділянці з 5,0...7,2% золи. Після внесення > 10...13% додатку якість наплавлень істотно погіршувалась: твердість була меншою, ніж наплавлень контрольного зразка.

Рис. 1. Залежність твердості наплавлень від частки введених додатків зольних відходів у флюс:

1 – *HB* за діаметра кульки 5 mm і навантаження 750 kg;  
2 – за діаметра кульки 10 mm та навантаження 3000 kg; 3 – *HRC*.

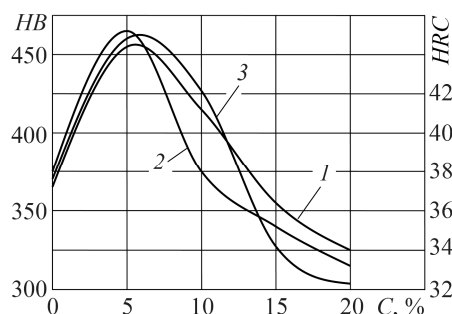


Fig. 1. Dependence of surfacing hardness on the share of the introduced additions of ash waste in the flux: 1 – *HB* for ball diameter 5 mm and at a load of 750 kg; 2 – for ball diameter 10 mm at a load of 3000 kg; 3 – *HRC*.

Твердість наплавлень з 5% золи досягає 42...47 *HRC*. Порівняно з наплавленнями без додатку (35...42 *HRC*) вона збільшилася на 18...23%. З підвищенням частки зольних відходів твердість зменшується і за їх кількості 20% становить 29...35 *HRC*. Таке її зниження порівняно з контрольним зразком пов'язано з підвищеною пористістю наплавлення. Твердість металу наплавлення з 5...7% золи стабільна. Тут зафіксували і найменший розкид її значень (у середньому 5...6%; див. таблицю).

#### Структурні та фізико-механічні характеристики наплавленого металу

Частка зольних додатків, %	Розмір включень, μm	Мікротвердість <i>H</i> <sub>50</sub>	Розмір дендритів, μm		Кількість включень, %	Твердість <i>HRC</i>
			поперечний	поздовжній		
0	<u>4...12</u> 5,9	<u>310...362</u> 337	<u>10,9...15,3</u> 12,1	<u>25,5...33,6</u> 27,8	<u>0,32...0,50</u> 0,46	<u>35...42</u> 38,7
5	<u>2...12</u> 6,2	<u>310...362</u> 341	<u>9,2...17,6</u> 11,3	<u>11,4...33,6</u> 17,4	<u>0,25...0,46</u> 0,38	<u>42...47</u> 44,3
10	<u>2...14</u> 7,1	<u>252...321</u> 281	<u>23,6...24,2</u> 23,9	<u>35,9...54,3</u> 48,9	<u>0,35...0,71</u> 0,58	<u>39...45</u> 42,4
15	<u>4...16</u> 8,3	<u>252...280</u> 278	<u>34,4...34,7</u> 34,6	<u>45,3...59,1</u> 54,5	<u>1,52...2,6</u> 1,84	<u>30...34</u> 32,8
20	<u>4...16</u> 4,8	<u>237...289</u> 269	<u>46,9...60,3</u> 53,4	<u>77,6...92,7</u> 86,5	<u>1,60...3,10</u> 2,01	<u>29...35</u> 32,0

**Примітка.** В чисельнику – максимальні та мінімальні значення; в знаменнику – середні.

Важливо також вивчити характеру розподілу мікротвердості за глибиною наплавлення, щоб вибрати припуск на механічну обробку і прогнозувати зношування відновлених деталей під час подальшої експлуатації. Найвищі її значення отримали за 5...7% золи. Таку закономірність спостерігали у всіх зонах наплавлень (рис. 2). Тому зробили висновок про відповідність вмісту додатку, оптимізованого за твердістю, в поверхневих шарах наплавлень. Інтенсивніший характер

змін мікротвердості в зоні термічного впливу пояснюють структурними перетвореннями в наплавленому металі: на ділянці її зростання – утворенням троостит-мартенситної структури, а на ділянці падіння – переходом цієї структури в троостит-перлітну.

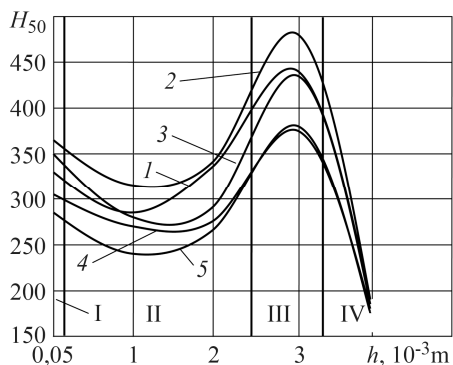


Рис. 2. Розподіл мікротвердості наплавлень по глибині залежно від частки золи у флюсі: I – поверхневий шар; II – робочий; III – перехідна зона; IV – зона термічного впливу; 1 – без відходів; 2 – 5% золи; 3 – 10; 4 – 15; 5 – 20%.

Fig. 2. Distribution of microhardness of the surfacing over depth, depending on the share of ash in the flux: I – surface layer; II – working; III – transition zone; IV – zone of thermal effect; 1 – no waste; 2 – 5% of ash; 3 – 10; 4 – 15; 5 – 20%.

Щоб зрозуміти причини зміни твердості в поверхневому шарі і мікротвердості по перерізу наплавлень за глибиною, оцінювали вплив кількості золи на структуроутворення. При цьому досліджували також і співвідношення розмірів зерен, розміри і розподіл неметалевих включень і пор (рис. 3 і таблиця). Виявили, що в металі наплавлень, виконаних під стандартним флюсом (без золи), дендрити мають витягнуту форму з коефіцієнтом нерівності (відношення довжини до діаметра) 2,3. Метал містить неметалічні включення і пори розміром 4...12  $\mu\text{m}$ . З введенням 5% зольних відходів їх кількість дещо зменшується (на 17%) і збільшуються розміри (на 5%) (рис. 3с, d). Розмір дендритів зменшився на 37,4%, а коефіцієнт їх нерівності знизився до 1,5.

Після введення 10% зольних відходів до флюсу, порівняно з наплавленнями без мікролегування, зростають як середні розміри неметалевих включень (на 20%), так і розміри дендритів (на 75%) за коефіцієнта їх нерівності до 2,04. До того ж з'являються такі дефекти, як раковини, надриви і тріщини.

З введенням 15...20% відходів різко збільшується кількість і великих, і дрібних включень. У полі зору шліфа – приблизно в 4 рази. Їх середній розмір зріс на 40%. Пов'язано це, очевидно, з недостатньою розчинністю мінеральної частини відходів за підвищеного вмісту у флюсі. За характерними слідами, що залишаються після полірування шліфів, можна стверджувати, що це тверді включення. Більше з'являється дефектів, особливо пор. Зростають нерівності дендритів та їх розмір.

Виявили, що в наплавленнях з 5% золи розміри дендритів менші, ніж з 10; 15 і 20%. А відомо, що структура металу з дрібнозернистою будовою відрізняється підвищеною твердістю і зносотривкістю порівняно з грубозернистою, що підтверджують результати досліджень фізико-механічних властивостей наплавлень.

Рентгеноструктурним аналізом фазового складу наплавлень, нанесених з оптимальним вмістом зольних відходів у флюсі, зафіксували ділянки карбонітридів Ti та V, які теж сприяли підвищенню їх твердості та мікротвердості (рис. 4).

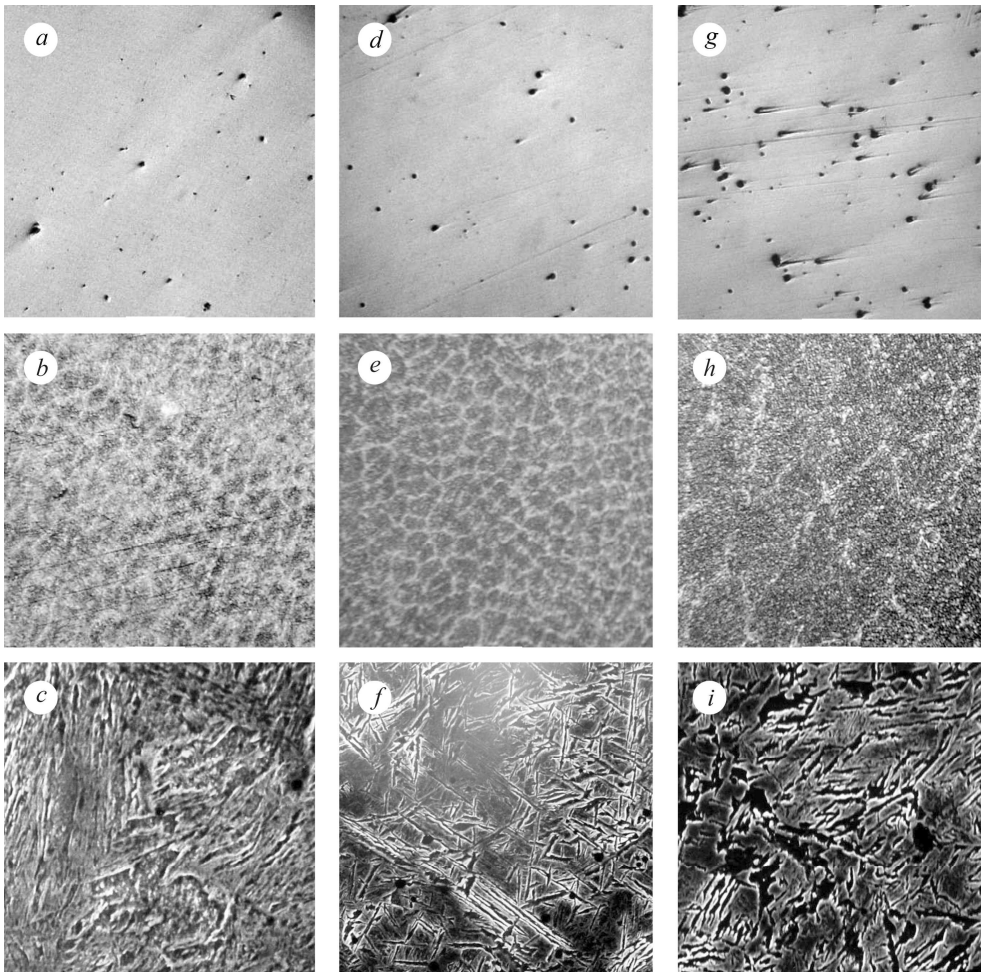
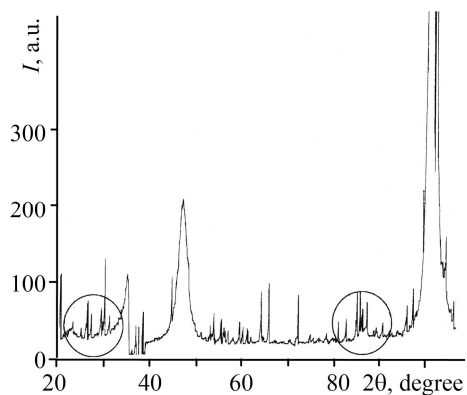


Рис. 3. Наплавлення: *a-c* – без золи; *d-f* – 5%; *g-i* – 20%; *a-g* – нетравлена,  $\times 100$ ; структура після травлення 4%-м розчином  $\text{HNO}_3$  в етиловому спирту за збільшень у 200 (*b, e, h*) і 2000 (*c, f, i*) разів.

Fig. 3. Surfacing: *a-c* – no additive ash; *d-f* – 5%; *g-i* – 20%; *a-g* – unetched,  $\times 100$ ; structure after etching with 4% of  $\text{HNO}_3$  solution in ethyl alcohol with magnification in 200 (*b, e, h*) and 2000 (*c, f, i*) times.

Рис. 4. Рентгеноструктурний аналіз фазового складу наплавлення, нанесеного дротом Нп-30ХГСА під шаром флюсу АН-348А з додатком 5...7% зольних відходів (виділено ділянки карбонітридів Ti і V).

Fig. 4. X-ray diffraction analysis of the phase composition of the surfacing deposited by Нп-30ХГСА wire under an АН-348А flux layer with the addition of 5...7% ash waste into the flux (sections of Ti and V carbonitrides are identified).



## ВИСНОВКИ

Аналізом способів підвищення твердості наплавлень, виконуваних під шаром флюсу, визначено як перспективний метод металургійного легування з використанням дешевших додатків у флюс з відходів енергетичних виробництв. Запропоновано економне легування зі застосуванням як додатку у флюс зольних відходів теплових електростанцій, в яких спектральним аналізом виявлено легувальні і модифікувальні елементи.

Експериментально оптимізовано частку золи, яку вводять у флюс. За її вмісту 5...7% твердість наплавлення підвищилась на 18...23% (до 44...46 HRC), а мікротвердість в усіх зонах по глибині – на 15...20%.

Металографічні дослідження структурного стану наплавлень засвідчили, що карбідотвірні елементи за оптимального вмісту зольних відходів, створюючи додаткові центри кристалізації, сприяють зменшенню розмірів дендритів на 37%. При цьому коефіцієнт їх нерівності знизився з 2,3 до 1,5.

Підтверджено ефективність додавання зольних відходів теплової електростанції в стандартний флюс АН-348А для відновлення наплавленням деталей машин, виготовлених з мало-, середньовуглецевих або низьколегованих сталей, що працюють в умовах рідинного і напіврідинного тертя. Зі збільшенням твердості і мікротвердості робочих поверхонь наплавлень, згідно зі закономірностями трибології, підвищуються зносотривкість і ресурс відновлених деталей, а отже, поліпшується якість ремонту.

1. Маслов Н. Н. Качество ремонта автомобилей. – М.: Транспорт, 1975. – 268 с.
2. Penning O. Auftragschweißen von Schienenköpfen im DB-Gleissystem mit selbstschützenden Fülldrahtelektroden // 7 Fachtagung Verschleißschutz von Bauteilen durch Auftragschweißen 7 und 8 Mai 2008. – Halle (Saale). – P. 61–64.
3. Лозовой В. Г., Майков Л. П. Состояние сырьевой базы для производства сварочных материалов // Сварочное производство. – 1996. – № 1; 2. – С. 24–25.
4. Исследование применения отходов производства в составе сварочных флюсов / С. А. Тютюков, С. Г. Истомина, А. А. Максимов, С. В. Михайлов, С. А. Сухоруков, Н. А. Гладкова // Тез. докл. 21-й науч.-техн. конф. сварщиков уральск. региона. – Курган: Изд-во Курганск. гос. ун-та, 2002. – С. 48–49.
5. Применение шлакообразующих смесей при производстве и реновации изделий / Т. С. Скобло, А. И. Сидашенко, А. Д. Мартыненко, Р. В. Ридный, Н. С. Пасько, А. К. Автухов / Под ред. проф. Т. С. Скобло. – Харьков: Полосатая типография, 2016. – 284 с.
6. Drop shock reliability of lead-free alloys – effect of micro-additives / R. Pandher, B. Lewis, R. Vangaveti, and B. Singh // Proc. Electronic Components and Techn. Conf. – NV: Sparks, 2007. – P. 669–676. 10.1109/ECTC.2007.373868.
7. Effect of the additions of carbide-forming elements on the microstructure and mechanical properties of steel shot / T. L. Shchennikova, G. G. Zalazinskii, L. I. Leont'ev, O. F. Rybal'ko // Russ. Metall. – 2009. – P. 36–40. <https://doi.org/10.1134/S0036029509010078>.
8. Moussa M., Waly M., and El-Sheikh A. M. Effect of Ca addition on modification of primary Mg<sub>2</sub>Si, hardness and wear behavior in Mg–Si hypereutectic alloys // J. of Magnesium and Alloys. – 2014. – 2. – P. 230–238. 10.1016/j.jma.2014.09.005.
9. Effect of additives introduction to fluxes manufactured from ladle electric steel slag. Izvestiya / N. A. Kozyrev, A. R. Mikhno, R. E. Kryukov, A. N. Kalinogorskii, and L. P. Bashchenko // Ferrous Metallurgy. – 2019. – 62, № 8. – P. 606–612. (In Russ.) <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2019-8-606-612>
10. Сварочные материалы для механизированных способов дуговой сварки / В. Г. Свещинский, В. И. Галинич, Д. М. Кушнарёв, А. М. Суптель. – М.: Машиностроение, 1983. – 102 с.
11. Влияние режимов нанесения и доли зольных добавок во флюс на твердость покрытий / Т. С. Скобло, В. В. Коломиец, В. Ф. Ридный, Р. В. Ридный // Тр. 13-й Междунар. науч.-техн. конф. “Физические и компьютерные технологии”. – Харьков, 2007. – С. 277–281.

Одержано 26.03.2018