УДК 621.793.927.7:669.018.25 DOI: https://doi.org/10.37434/as2023.06.03

СТРУКТУРА ТА ВЛАСТИВОСТІ НАПЛАВЛЕНОГО МЕТАЛУ СПЛАВУ ТИПУ СОРМАЙТ-1 ПІСЛЯ ПРИРОДНОГО СТАРІННЯ

Ч.В. Пулька[1], В.С. Сенчишин[1], І.Б. Окіпний[1], Віт. С. Сенчишин[1], Р.Т. Біщак[2]

[1]Тернопільський нац. техн. ун-т ім. І. Пулюя. 46001, м. Тернопіль, вул. Руська, 56
[2]Івано-Франківський нац. техн. ун-т нафти і газу. 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15

Проведено дослідження властивостей наплавленого металу, отриманого із застосуванням індукційного способу на деталі робочих органів сільськогосподарської ґрунтообробної техніки в процесі природного старіння. Аналіз показав, що запасні частини, які зберігаються на складах протягом 3–5 років через різні обставини можуть піддаватися природньому старінню. Це в свою чергу може призвести до зміни властивостей та структури як основного, так і наплавленого металів. За результатами проведених досліджень зразків наплавлених деталей до і після природнього старіння встановлено, що структура і мікротвердість наплавленого металу практично ідентичні. Результати мікрорентгеноспектрального аналізу показали, що збагачення вуглецем ділянок наплавленого металу у лінії сплавлення не виявлено. Показано, що зносостійкість наплавленого металу типу Сормайт-1 на сталь 3, наплавленого індукційним способом, залишається практично без змін. Бібліогр. 6, рис. 4.

Ключові слова: індукційне наплавлення, порошкоподібний твердий сплав (Сормайт-1), мікроструктура, зносостійкість, природне старіння

Вступ. Сплави типу Сормайт-1 у вигляді порошків свого часу широко застосовувалися для індукційного наплавлення робочих органів сільськогосподарської техніки: лемешів плугів і культиваторів, дискових ножів бурякозбиральних комбайнів та ін. Ці деталі виготовлялися мільйонними партіями, зокрема, і як запасні частини [1]. Як показує аналіз, згадані запасні частини, через різні обставини, можуть зберігатися на складах протягом 3–5 років, що може призвести до природного старіння наплавленого металу та зміни його структури та властивостей.

Слід також відзначити той факт, що в металургійній промисловості та машинобудуванні також досить широко застосовується електрошлакове наплавлення дробом або дугове наплавлення порошковими стрічками, які забезпечують отримання наплавленого металу, що за хімічним складом відповідає високохромистим чавунам типу Сормайт-1, додатково легованим іншими елементами [2]. Деталі, які наплавлені цими матеріалами, також можуть експлуатуватися або зберігатися досить тривалий час, причому в умовах підвищених температур, що може призвести до зміни структури і властивостей наплавленого металу. Ці процеси в якійсь мірі можуть бути аналогічними процесам природного старіння наплавленого металу.

Процеси старіння металу описані у ряді монографій [3–5], проте в них немає згадки про особливості старіння наплавленого металу, що, виходячи з викладеного вище, є досить актуальними для металургійного, машинобудівного та сільськогосподарського виробництва.

Метою даної роботи є дослідження можливої зміни структури та властивостей наплавленого металу типу Сормайт-1 у процесі природного старіння при тривалому зберіганні наплавлених деталей або їх тривалої експлуатації на прикладі деталей, наплавлених індукційним методом сплавом типу Сормайт-1.

Матеріали та методики проведення досліджень. Зразки для досліджень мікроструктури та властивостей наплавленого металу були вирізані з дисків серійних ножів, наплавлених індукційним способом сплавом типу Сормайт-1. Частина зразків вирізалася з дискових ножів, які зберігалися на складі запасних частин не менше 5 років. Для порівняння досліджувалися нові наплавлені зразки. Хімічний склад наплавленого металу, мас. %: 2,5...3,3 C; 2,8...4,2 Si; 0,1...1,5 Mn; 27,0...31,0 Cr; 3,0...5,0 Ni. Твердість $HRC \geq 51$. Основний метал – сталь 3.

Підготовку зразків для металографічних досліджень виконували за стандартними методиками на високошвидкісних полірувальних кругах, з використанням алмазних паст різної дисперсності. Виявлення структури наплавленого металу проводили шляхом електролітичного травлення в 20%-му водяному розчині хромової кислоти. Дослідження мікроструктури здійснювали на металографічному оптичному мікроскопі МІМ-7 при збільшеннях 90…200. Твердість фазових складових вимірювали на мікротвердомірі Leco M-400, навантаження становило 1Н, час навантаження – 10 с.

Аналіз розподілу легуючих елементів у зоні сплавлення проводили на мікроаналізаторі MS-46 фірми «CAMECA».

Окіпний І.Б. – https://orcid.org/0000-0003-1059-3375, Пулька Ч.В. – https://orcid.org/0000-0003-4611-1497,
Сенчишин В.С. – https://orcid.org/0000-0002-0286-7754, Біщак Р.Т. – https://orcid.org/0000-0001-6876-7142,
Сенчишин В.С. – https://orcid.org/0009-0005-8367-9497
© Ч.В. Пулька, В.С. Сенчишин, І.Б. Окіпний, Віт. С. Сенчишин, Р.Т. Біщак, 2023

Рис. 1. Мікроструктура (×200, зменш. 2/3) наплавленого зразка сталь 3+Сормайт-1: *а* – після наплавлення; *б* – після старіння

Дослідження зносостійкості наплавленого металу до і після старіння проводили на установці НК-М [6]. Умови випробувань: абразив – кварцовий пісок з розміром частинок 0,2…0,4 мм; шлях тертя 400 м; питомий тиск – 3 МПа; еталон – відпалена сталь 45.

Результати досліджень та їх обговорення. У мікроструктурі наплавленого металу типу Сормайт-1 до процесу старіння спостерігаються первинні хромисті карбіди у вигляді великих пластин прямокутної або ромбовидної форми, достатньо рівномірно розподілені в матриці (рис. 1, *а*). Із сторони наплавленого металу до межі розділення прилягають скупчення карбідної евтектики. Біла смужка на межі розділення між основним і наплавленим металом має змінну ширину 18…20 мкм. Мікротвердість карбідів 13320…14270 Н/мм^2, матриці – 5720 Н/мм^2, зони сплавлення – 4640…3510 Н/мм^2. На краях наплавленого металу структура являє собою суміш карбідів різної дисперсності, при цьому первинних великих пластинчастих карбідів не спостерігається.

На рис. 1, *б* наведено мікроструктуру наплавленого металу після 5 років зберігання. У ній також спостерігаються хромисті карбіди у вигляді великих пластин. Мікротвердість структурних складових після старіння складає: карбідів – 12890…14950 Н/мм^2, матриці – 4390…4860 Н/мм^2, зони сплавлення – 3340…3680 Н/мм^2. Ширина білої смужки в зоні сплавлення складає 13,6…17,4 мкм. Результати досліджень двох зразків до і після старіння показують, що по типу структури і значенню мікротвердості вони практично ідентичні.

З метою визначення складу структурних складових був проведений мікрорентгеноспектральний аналіз наплавлених зразків до та після старіння.

На рис. 2 показаний розподіл нікелю і хрому в зразках до та після старіння. Запис виконувався посередині ширини зони наплавлення, перпендикулярно лінії сплавлення, як правило, на глибині 200 мкм від основного металу. Встановлено, що у зразку внаслідок старіння на відстані до 40 мкм від основного металу спостерігається зона, яка характеризується дрібнодисперсним виділенням карбідів з максимальним вмістом хрому до 30 % і середнім вмістом нікелю в матриці біля 3 %. На відстані 40 мкм виявлено наявність більш крупних карбідів, де концентрація хрому майже до 60 %.

Вміст нікелю в твердому розчині складає біля 5%. Відомо, що при підвищених температурах в зоні сплавлення зварного з'єднання різнорідних сталей може відбуватися дифузія вуглецю з менш легованого металу в більш легований, наприклад, з низьколегованого основного металу в аустенітний шов. В зв'язку з цим, вивчали якісний розподіл вуглецю і хрому у зразках до та після старіння (рис. 3). Як видно з рис. 3 замітного збагачення вуглецем дільниці наплавленого металу біля лінії

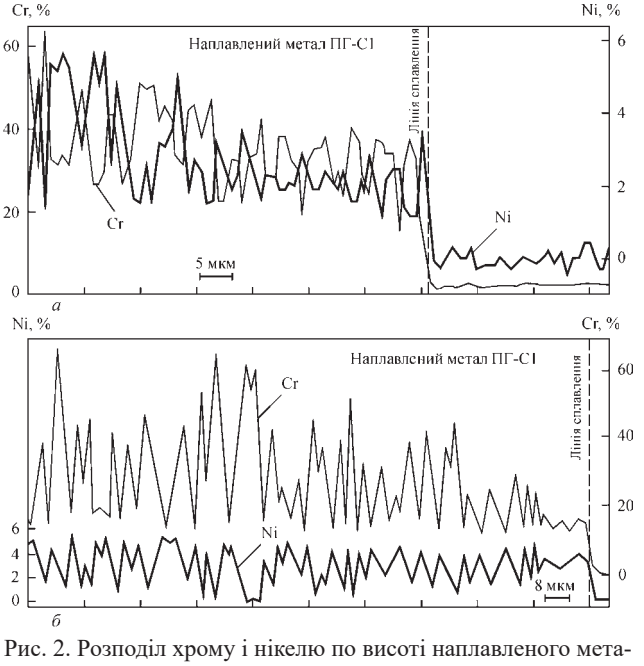

Рис. 2. Розподіл хрому і нікелю по висоті наплавленого металу зразка сталь 3+Сормайт-1: *а* – після наплавлення; *б* – після старіння

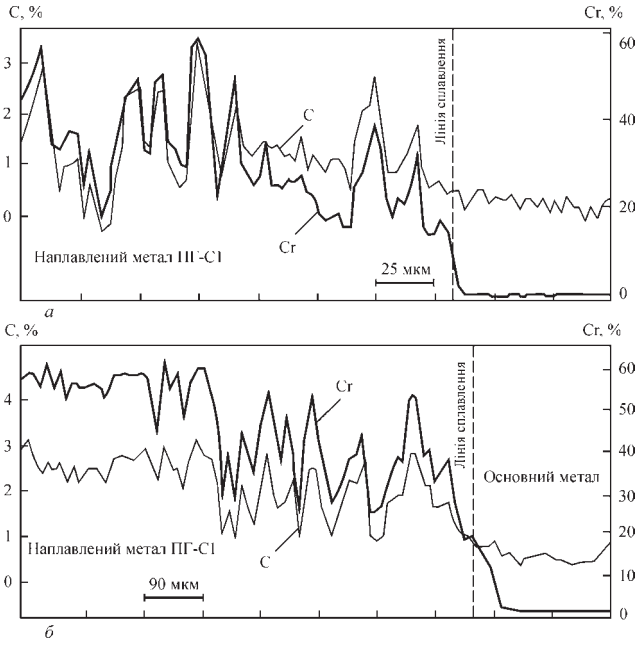

Рис. 3. Розподіл вуглецю і хрому в зоні сплавлення зразка сталь 3+Сормайт-1: *а* – після наплавлення; *б* – після старіння

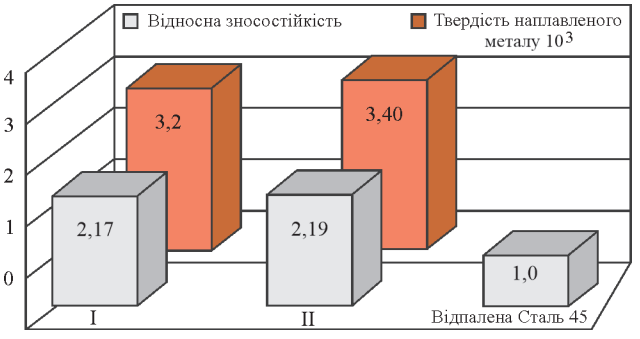

Рис. 4. Відносна зносостійкість та твердість досліджуваних зразків сталь 3+Сормайт-1: I – після наплавлення; II – після старіння

сплавлення не спостерігається. Результати рентгеноструктурного аналізу показують, що вуглець зв'язаний в карбідах типу $(Fe, Cr)_7C_3$ та $(Fe, Cr)_3C$.

Були проведені лабораторні дослідження зносостійкості наплавленого металу зразків до та після старіння на машині НК-М. Як видно з рис. 4, зразки до і після старіння мають приблизно однакову зносостійкість, відповідно, 2,17 і 2,19. Також було проведено вимірювання твердості наплавленого металу, результати яких також приведені на рис. 4. Твердість наплавленого металу також мало змінилася.

Висновок

Структура та зносостійкість металу типу Сормайт-1, наплавленого індукційним способом, після природного старіння залишається без змін, що дає підстави для використання наплавлених деталей після тривалого зберігання за призначенням у виробництві.

Список літератури

1. Боль А.А., Лесков С.П. (1985) *Индукционная наплавка деталей в сельскохозяйственном машиностроении. Наплавка. Опыт и эффективность применения*. Киев, ИЭС им. Е.О. Патона, 72–76.
2. Рябцев И.А., Сенченков И.К., Турык Э.В. (2015) *Наплавка. Материалы, технологии, математическое моделирование*. г. Гливице (Gliwice), Польша, Изд-во Силезского политехн. ин-та (Wydawnictwo Politechniki Śląskiej).
3. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. (1990) *Материаловедение*. Москва, Машиностроениес. ISBN 5-217-00858-X
4. Хільчевський В.В. (2002) *Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів: Навчальний посібник*. Київ, Либідь. ISBN 966-06-0247-2
5. (2013) *Мала гірнича енциклопедія:* у 3 т. Білецький В.С. (ред.). Донецьк, Східний видавничий дім. Т. 3.
6. Юзвенко Ю.А., Гавриш В.А., Марьенко В.А. (1979) *Лабораторные установки для оценки износостойкости наплавленного метала. Теоретические и технологические основы наплавки. Свойства и испытания наплавленного металла*. Киев, ИЭС им. Е.О. Патона, сс. 23–27.

References

1. Bol, A.A., Leskov, S.P. (1985) *Induction surfacing of parts in agricultural engineering. Surfacing. Experience and effectiveness of application.* Kyiv, PWI, 72–76 [in Russian].
2. Ryabtsev, I.A., Senchenkov, I.K., Turyk, E.V. (2015) *Surfacing. Materials, technologies, mathematical modeling.* Poland, Gliwice, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej.
3. Lakhtin, Yu.M., Leontieva, V.P. (1990) *Materials science.* Moscow, Mashinostroenie [in Russian]. ISBN 5-217-00858-X
4. Khilchevsky, V.V. (2002) *Materials science and technology of structural materials: Tutorial.* Kuiv, Lybid [in Ukrainian]. ISBN 966-06-0247-2
5. (2013) *Small mining encyclopaedia*: In: 3 Vol. Ed. by V.S. Biletskyi. Donetsk, Shidnyi Vydavnychyi Dim, Vol. 3 [in Ukrainian].
6. Yuzvenko, Yu.A., Gavrish, V.A., Marienko, V.A. (1979) *Laboratory units for evaluation of wear resistance of deposited metal. Theoretical and technological fundamentals of surfacing. Properties and tests of deposited metal.* Kyiv, PWI, 23–27 [in Russian].

STRUCTURE AND PROPERTIES OF DEPOSITED METAL OF AN ALLOY OF SOPRMITE-1 TYPE AFTER NATURAL AGING

Ch.V. Pulka[1], V.S. Senchyshyn[1], I.B. Okipnyi[1], Vit. S. Senchyshyn[1], R.T. Bishchak[2]

[1]Ternopyl Puluj National Technical University. 56 Ruska Str., 46001, Ternopyl

[2]Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas. 15 Karpatska Str., 76019, Ivano-Frankivsk

Properties of metal deposited with application of induction method on the parts of working tools of soil-cultivating agricultural machinery during natural aging were studied. Analysis showed that the spare parts stored for 3 to 5 years can undergo natural aging because of various circumstances. This, in its turn, can lead to a change in the properties and structure of both the base and deposited metals. Proceeding from the results of the conducted investigations of the surfaced parts before and after natural aging, it was determined that the structure and microhardness of the deposited metal are practically identical. Results of X-ray microprobe analysis demonstrated no carbon enrichment of deposited metal regions near the fusion line. It is shown that wear resistance of metal of Sormite-1 type deposited on steel 3 by the induction method remains practically unchanged. 6 Ref., 4 Fig.

Keywords: induction surfacing, powderlike hard alloy (Sormite-1), microstructure, wear resistance, natural aging

Надійшла до редакції 02.05.2023