

УДК.621.791.92.042

Кассов В. Д.  
Кабацький О. В.  
Бережна О. В.  
Малигіна С. В.

## ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ПОРОШКОВОГО ДРОТУ СКЛАДНОЇ КОНСТРУКЦІЇ

Одним з основних етапів відновлення геометрії робочих поверхонь деталей після їх зносу є виконання наплавлювальних робіт з використанням відповідних матеріалів і технологічних заходів, що забезпечують високу твердість і зносостійкість поверхневого шару [1, 2]. При цьому для збільшення показників продуктивності наплавлення доцільним є використання дротів, що мають діаметр до 5–6 мм. Однак, це призводить до значного зниження жорсткості дроту, підвищення можливості просипання шихти, погіршення характеристик горіння дуги та переносу електродного металу.

Можливим вирішенням зазначених проблем є використання для виконання наплавочних робіт дротів з ускладненою конструкцією поперечного перерізу [1]. На цей час відомі декілька варіантів конструкцій поперечного перерізу порошкових електродних матеріалів (дротів і стрічок) [1–5], використання яких є ефективним, але в тій чи іншій мірі ускладнює технологію виготовлення дроту.

Метою роботи є вдосконалення технології виготовлення порошкового дроту складної конструкції для зносостійкого наплавлення.

Попередні дослідження [6, 7, 8] показали перспективність наступної конструкції порошкового дроту (рис. 1, а). Виготовляється такий дріт шляхом згортання трубки із сталевий стрічки з введенням в неї легуючої шихти і зварювального дроту, використання якого сприяє збільшенню жорсткості порошкового дроту. При цьому краплі електродного металу формуються на дроті, що також призводить до повного розплавлення шихти.

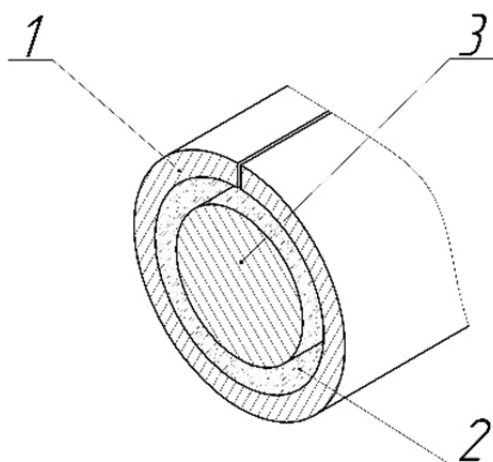


Рис. 1. Схема розташування дротяної вставки Св-08 при напавленні порошковим дротом  $\varnothing 5,5$  мм:

1 – сталевий трубка; 2 – легуюча шихта; 3 – дріт Св-08  $\varnothing 3$  мм

Для запобігання висипання порошкового матеріалу з металевий оболонки можливим заходом є намагнічування металевий дроту [7]. Поставлену задачу вирішують за рахунок того, що з окремого розмотувача подається металевий дріт, який проходить крізь індуктор,

де намагнічується. Потім, проходячи крізь бункер з металевим порошком, на дрід намагнічується порошок, утворюючи заготовку відповідного діаметра. Заготовку розміщують в металевій стрічці U-подібного профілю і волочать у волочильній машині.

Виготовлення порошкового дроту здійснюється відповідно до рис. 2 [7]. З розмотувача 1 металевий дрід 2 через тягові ролики 3 подається до індуктора 4, де намагнічується. Далі дрід проходить до бункера з металевим порошком 5, де на нього намагнічується металевий порошок, створюючи заготовку відповідного діаметра. З розмотувача 6 металева стрічка 7, що призначена для оболонки порошкового дроту, подається до згинальних роликів 8 для формування стрічки в U-подібний профіль. Разом із металевою стрічкою 7 та порошковим матеріалом порошковий дрід 2 подається в обтискні ролики 10 для попереднього обтиску. Потім стрічку 7, попередньо обтиснуту навколо дроту 2, волочать у волочильній машині 9 для формування порошкового дроту заданого діаметра та необхідної щільності сердечника. На намотувальному пристрої 11 відбувається намотка дроту в бунт.

Реалізація розглянутої технології виготовлення дроту здійснювалася при наплавленні деталей, що працюють в умовах інтенсивного зносу. При цьому з урахуванням умов роботи цих деталей [9, 10], потрібне отримання наплавленого металу з високою міцністю, твердістю, а також стійкістю проти утворення тріщин. У зв'язку з цим для дослідів вибрано сталь, що містить 0,5–0,7 % вуглецю, основу легування якої (до 11–12 %) становить хром. При цьому у сталь додатково вводять марганець, а також титан як модифікатор, що подрібнює структуру металу та робить її більш однорідною. Концентрації вуглецю, хрому і титану повинні забезпечувати утворення відповідних комплексних карбідних фаз в металі.

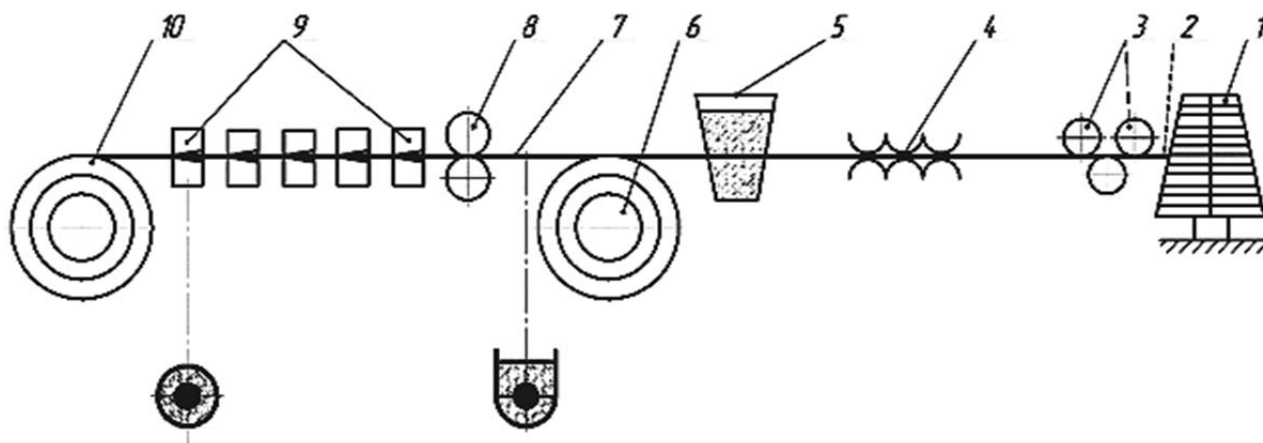


Рис. 2. Загальний вид технологічної схеми виготовлення порошкового дроту

В якості металу, що наплавляється, можливо використати високохромисту сталь, близьку за складом до основного металу. Звідси при розробці порошкового дроту в основу розрахунку шихти приймався вміст легуючих елементів в сталі з урахуванням коефіцієнтів переходу легуючих елементів з дроту в наплавлений метал.

За основу був прийнятий порошковий дрід  $\varnothing 5$  мм з коефіцієнтом заповнення 32–34 %, що містить хром металевий (ГОСТ 5905-2004), ферохром ФХ800А (ГОСТ 4757-91), феромарганець ФМн-88 ДСТУ 3547-97, феротитан Ті1 (ДСТУ ISO 4552-2:2010), кріоліт КП (ГОСТ 10561-80). Встановлено, що співвідношення змісту Cr / FeCr повинне відповідати 1,55...1,6. В якості газошлакотвірної системи використали плавиковий шпат, мармур і датолитову руду в співвідношенні 1:2:1.

З практики металургії відомий сприятливий вплив на властивості металу введення його склад поверхнево-активних елементів (церію, кальцію, магнію та ін.) [11–17]. Для цієї мети в якості компонента шихти порошкового дроту здійснювалося введення в наплавлений метал магнію, який додавали у вигляді магнієво-алюмінієвої лігатури (у кількості 5–8 %) для запобігання вигорання магнію, а також для полегшення дроблення і помелу.

Міцність дроту забезпечується товщиною сталеві стрічки, а відносна вага шихти, для легування металу наплавлення, її шириною. Достатня міцність трубки порошкового дроту забезпечується її виготовленням із сталеві стрічки завтовшки 1,0 мм. Для отримання в металі наплавлення стали і сплаву з 12 % хрому ширина стрічки має бути 22 мм. Виготовляється порошковий дріт з такої стрічки діаметром 5–6 мм за технологією, прийнятою в промисловості шляхом згортання трубки із сталеві стрічки ГОСТ 503-81 із сталі 08-10 з введенням в неї легуючої шихти і зварювального дроту Св-08 ГОСТ 2246-80 діаметром 3 мм. Виготовлення дроту відповідно до розглянутої технології не викликало ніяких труднощів.

Режим наплавлення вибирався так, щоб забезпечувалося хороше формування шва і віддільність шлакової кірки. Оцінка формування металу шва і віддільності шлакової кірки робилася по трьох- і чотирибальній системі відповідно. Формування вважалося «відмінним», якщо шов був абсолютно гладким, «хорошим» – якщо спостерігалися незначні нерівності; «задовільним» – за наявності «рибин», напливів, вм'ятин.

Віддільність вважалася «відмінною», якщо шлакова кірка відділялася спонтанно, «хорошою» – якщо для відділення шлаку вимагалася докласти невелике зусилля, «задовільною» – коли шлакова кірка відділялася невеликими ділянками лише після докладання значного зусилля; «поганою» – коли було потрібне докладання значного зусилля і мало місце в'їдання шлаку на поверхні наплавленого металу.

Наплавлення робилося на довжині  $l = 150$  мм при режимі:  $I = 650\text{--}700$  А;  $U_d = 28\text{--}30$  В;  $V_{зв.} = 40$  м/год. Наплавлення велося дротом  $\varnothing 5$  мм з використанням автомата АДС-1000. Хімічний склад наплавленого металу в 2-му і 3-му шарах наведений в табл. 1.

Таблиця 1

## Хімічний склад наплавленого металу

Зміст легуючих елементів, %						
С	Mn	Si	Cr	Ti	S	P
0,55–0,65	0,5–0,6	0,35	12–14	0,3–0,4	< 0,03	< 0,03

Мікроструктура сталі при швидкому охолодженні після наплавлення в усіх випадках переважно складається з твердого розчину (аустеніту) і слідів ледебуритної евтектики. Після високої відпустки структура в усіх випадках складається з сорбітоподібного перліту.

Вивчення мікроструктури металу без додавання магнію показує, що в сталі, разом із утворенням карбідів титану, у міждендритних ділянках зосереджується вуглець у значній концентрації, який після кристалізації, окрім твердого розчину, знаходиться у вигляді дисперсних карбідів (рис. 3, а). При введенні у сталь сплаву магнію з алюмінієм характер розподілу вуглецю різко змінюється (рис. 3, б): він рівномірно розподіляється у металі з переважним розташуванням усередині зерен у вигляді коагульованих включень, зменшуючи концентрацію внутрішніх напружень на межах зерен.

Сприятливий вплив модифікування магнієм на структуру металу проявилася в подрібненні структури за рахунок зниження швидкості зростання кристалів і збільшення числа зародків кристалізації [15–17]. Усе це сприяє підвищенню пластичних властивостей і ударної в'язкості металу, стійкості до утворення гарячих тріщин. Підвищується також жароміцність металу за рахунок очищення меж зерен від легкоплавких шкідливих домішок сірки, свинцю, олова, оксидів і інших з'єднань. Позитивною на підвищення жароміцності є здатність модифікатора утворювати із залізом або легуючими елементами зміцнюючу фазу типу інтерметаліду або карбіду.

Випробування також показали, що досліджувані порошкові дроти мають також досить високі зварювально-технологічні характеристики: відмінне формування шва, хорошу віддільність шлакової кірки. Результати досліджень дозволяють рекомендувати використання розглянутого порошкового дроту на виробництві при наплавленні робочих поверхонь зношених деталей.

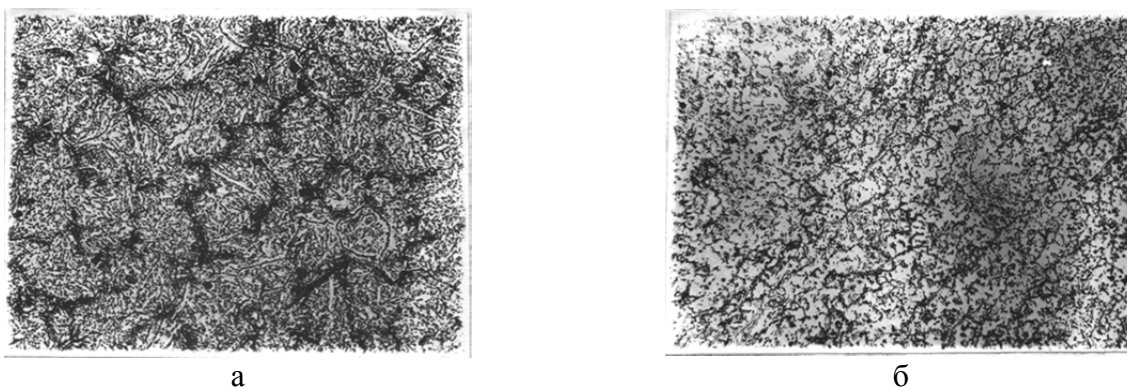


Рис. 3. Мікроструктура наплавленого металу після високої відпустки:  
а – не модифікованої магнієм; б – модифікованої магнієм,  $\times 300$

### ВИСНОВКИ

Вибрана технологія виготовлення порошкового дроту досліджуваної конструкції дозволяє підвищити якість, технологічність, продуктивність як при виготовленні дроту, так і при виконанні наплавлення.

Модифікування високохромистого наплавленого металу сплавом магнію з алюмінієм сприятливо відбивається на їх структурі за рахунок зниження карбідної неоднорідності як при наплавленні, так і при подальшій термічній обробці. Рівномірний розподіл карбідів знижує її схильність до тріщин при наплавленні.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. *Производство порошковой проволоки* / И. К Походня [и др.]. – Киев : Высшая школа, 1980. – 232 с.
2. Кассов В. Д. Математическое моделирование состава металла, наплавленного порошковой проволокой сложной конструкции / В. Д. Кассов, О. О. Разумович // *Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета*. – 2014. – Вып. 63–65. – С. 131–134.
3. Грибков Э. П. Изготовление порошковых лент для восстановительной наплавки деталей станочного оборудования / Э. П. Грибков, В. А. Данилюк, В. Д. Кассов // *Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем* : збірник наукових праць. – Краматорськ : ДДМА, 2012. – Вып. № 31. – С. 180–184.
4. Чигарев В. В. Износостойкая наплавка порошковой лентой / В. В. Чигарев, А. Г. Белик, Т. Н. Филиппенко // *Сборник научных работ национального университета кораблестроения*. – 2009. – № 3. – С. 168–175.
5. Пат. 11531 Україна. МПК С22В 9/10, С21 D 7/04. Пристрій для виробництва комбінованого порошкового дроту в металевій оболонці / Горовий С. Є., Руднев О. Л., Пахомов Ю. А., Живченко В. С. – № u200509116 ; заявл. 27.09.2005 ; опубл. 15.12.2005.
6. Пат. 84906 Україна. МПК В23К 35/40. Спосіб виготовлення порошкового дроту / Грибков Е. П., Данилюк В. О., Бережна О. В., Чепель Ю. А. – № u201303311 ; заявл. 18.03.2013 ; опубл. 11.11.2013, Бюл. № 21.
7. Пат. 84241 Україна. МПК В23К 35/40. Спосіб виготовлення порошкового дроту / Грибков Е. П., Чепель Ю. А., Данилюк В. О., Бережна О. В., Кассов В. Д. – № u201305779 ; заявл. 07.05.2013 ; опубл. 10.10.2013.
8. Технологические особенности изготовления и наплавки с использованием порошковой проволоки сложной конструкции / В. Д. Кассов, А. В. Кабацкий, Е. В. Бережная, С. В. Малыгина // *Вісник Донбаської державної машинобудівної академії* : зб. наук. прац. – Краматорськ : ДДМА, 2018. – № 2(44). – С. 47–51.
9. Опыт применения электродуговой наплавки порошковой проволокой на предприятиях Украины / А. А. Голякевич, Л. Н. Орлов, Л. С. Малинов [и др.] // *Автоматическая сварка*. – 2016. – № 9. – С. 37–41.
10. Рябцев И. А. Порошковые проволоки для наплавки стальных валков горячей прокатки / И. А. Рябцев, И. А. Кондратьев // *Автоматическая сварка*. – 2014. – № 6–7. – С. 99–100.
11. Турбар В. П. Влияние модифицирования кальцием на качество колесной стали / В. П. Турбар, Д. М. Гаркаленко, Л. В. Таболаева [и др.] // *Металл и литье Украины* – 2009 – № 4–5. – С. 55–57.
12. Термодинамика процессов взаимодействия иттрия, кальция, магния и алюминия с кислородом в жидкой стали / Г. Г. Михайлов, Л. А. Макровец, Л. А. Смирнов // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия»*. – 2016. – Т. 16, № 2. – С. 5–13. – DOI: 10.14529/met160201.
13. Голубцов В. А. Модифицирование стали для отливок / В. А. Голубцов, В. В. Лунев. – Челябинск – Запорожье : ЗНТУ, 2009. – 356 с.
14. Шуб Л. Г. Рекомендации по модифицированию стали / Л. Г. Шуб // *Сб. докладов Литейного консилума № 2 «Теория и практика металлургических процессов при производстве отливок из чёрных сплавов»*. – Челябинск : Челябинский Дом печати, 2007 – С. 120.

15. Бабаскин Ю. З. Структура и свойства литой стали / Ю. З. Бабаскин. – Киев : Техника, 1981. – 210 с.  
16. Браун М.П. Микролегирование стали / М. П. Браун. – Киев : Наукова думка, 1982. – 303 с.  
17. Крецановский Н.С. Модифицирование стали / Н. С. Крецановский, М. Ф. Сидоренко. – М. : Металлургия, 1970. – 296 с.

## REFERENCES

1. *Proizvodstvo poroshkovej provoloki / I. K Pohodnja [i dr.]*. – Kiev : Vysshaja shkola, 1980. – 232 s.  
2. Kassov V. D. *Matematicheskoe modelirovanie sostava metalla, naplavlennogo poroshkovej provolokoj slozhnoj konstrukcii / V. D. Kassov, O. O. Razumovich // Vestnik Har'kovskogo nacional'nogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta*. – 2014. – Вып. 63–65. – S. 131–134.  
3. Gribkov Je. P. *Izgotovlenie poroshkovyh lent dlja vosstanovitel'noj naplavki detalej stanochного oborudovaniya / Je. P. Gribkov, V. A. Daniljuk, V. D. Kassov // Nadijnist' instrumentu ta optimizacija tehnologichnih sistem : zbirnik naukovih prac'*. – Kramators'k : DDMA, 2012. – Vip. № 31. – S. 180–184.  
4. Chigarev V. V. *Iznosostojkaja naplavka poroshkovej lentoj / V. V. Chigarev, A. G. Belik, T. N. Filippenko // Sbornik nauchnyh rabot nacional'nogo universiteta korablestroeniya*. – 2009. – № 3. – S. 168–175.  
5. Pat. 11531 Ukraïna. MPK C22B 9/10, C21 D 7/04. *Pristrij dlja virobництва kombinovanogo poroshkovogo drotu v metalevij obolonci / Gorovij S. С., Rudnev O. L., Pahomov Ju. A., Zhivchenko V. S.* – № u200509116 ; zajavl. 27.09.2005 ; opubl. 15.12.2005.  
6. Pat. 84906 Ukraïna. MPK B23K 35/40. *Sposib vigotovlennja poroshkovogo drotu / Gribkov E. P., Daniljuk V. O., Berezhna O. V., Chepel' Ju. A.* – № u201303311 ; zajavl. 18.03.2013 ; opubl. 11.11.2013, Bjul. № 21.  
7. Pat. 84241 Ukraïna. MPK B23K 35/40. *Sposib vigotovlennja poroshkovogo drotu / Gribkov E. P., Che-pel' Ju. A., Daniljuk V. O., Berezhna O. V., Kassov V. D.* – № u201305779 ; zajavl. 07.05.2013 ; opubl. 10.10.2013.  
8. *Tehnologicheskie osobennosti izgotovleniya i naplavki s ispol'zovaniem poroshkovej provoloki slozhnoj konstrukcii / V. D. Kassov, A. V. Kabackij, E. V. Berezhnaja, S. V. Malygina // Visnik Donbas'koï derzhavnoï mashinobudivnoï akademii : zb. nauk. pract.* – Kramators'k : DDMA, 2018. – № 2(44). – S. 47–51.  
9. *Opyt primeneniya jelektrodugovoj naplavki poroshkovej provolokoj na predpriyatijah Ukrainy / A. A. Goljakevich, L. N. Orlov, L. S. Malinov [i dr.] // Avtomaticheskaja svarka*. – 2016. – № 9. – S. 37–41.  
10. Rjabcev I. A. *Poroshkovye provoloki dlja naplavki stal'nyh valkov gorjachej prokatki / I. A. Rjabcev, I. A. Kondrat'ev // Avtomaticheskaja svarka*. – 2014. – № 6–7. – S. 99–100.  
11. Turbar V. P. *Vlijanie modifitsirovaniya kal'ciem na kachestvo kolesnoj stali / V. P. Turbar, D. M. Garkalenko, L. V. Tabolaeva [i dr.] // Metall i lit'e Ukrainy – 2009 – № 4–5. – S. 55–57.*  
12. *Termodinamika processov vzaimodejstvija ittrija, kal'cija, magnija i aljuminija s kislorodom v zhidkoj stali / G. G. Mihajlov, L. A. Makrovec, L. A. Smirnov // Vestnik JuUrGU. Serija «Metallurgija»*. – 2016. – T. 16, № 2. – S. 5–13. – DOI: 10.14529/met160201.  
13. Golubcov V. A. *Modifitsirovanie stali dlja otlivok / V. A. Golubcov, V. V. Lunev. – Cheljabinsk – Zaporozh'e : ZNTU, 2009. – 356 s.*  
14. Shub L. G. *Rekomendacii po modifitsirovaniju stali / L. G. Shub // Sb. dokladov Litejnogo konsiliuma № 2 «Teorija i praktika metallurgicheskikh processov pri proizvodstve otlivok iz chjornyh splavov»*. – Cheljabinsk : Cheljabinskij Dom pečati, 2007 – S. 120.  
15. Babaskin Ju. Z. *Struktura i svojstva litoj stali / Ju. Z. Babaskin*. – Kiev : Tehnika, 1981. – 210 s.  
16. Braun M.P. *Mikrolegirovanie stali / M. P. Braun*. – Kiev : Naukova dumka, 1982. – 303 s.  
17. Kreshhanovskij N.S. *Modifitsirovanie stali / N. S. Kreshhanovskij, M. F. Sidorenko*. – M. : Metallurgija, 1970. – 296 s. 1. *Proizvodstvo poroshkovej provoloki / I. K Pohodnja [i dr.]*. – Kiev : Vysshaja shkola, 1980. – 232 s.

Кассов В. Д. – д-р техн. наук, проф., декан ДДМА;  
Кабацький О. В. – канд. техн. наук, доц. каф. ІіІГ ДДМА;  
Бережна О. В. – д-р техн. наук, доц. каф. ПТМ ДММА;  
Малигіна С. В. – канд. техн. наук, доц. каф. ІіІГ ДДМА.

ДДМА – Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ.

E-mail: uncle.l.72@gmail.com; svma15.sm@gmail.com