

Гринь А. Г.
Жаріков С. В.

ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ НАПЛАВЛЕНОГО МЕТАЛУ ПРИ ВІДНОВЛЕННІ РОБОЧОЇ ПОВЕРХНІ ПРЕСОВОГО ІНСТРУМЕНТУ

Аналіз літературних даних показав, що надійність і ефективність ковальсько-пресового виробництва залежить від стійкості деформуючого інструменту, підвищення якої має велике техніко-економічне значення. Одним із шляхів підвищення стійкості є зміцнювальне та відновлювальне наплавлення робочого інструменту самозахисним порошковим дротом (СПД). Одним із недоліків СПД є утворення у наплавленому металі пор і неметалевих включень викликаних азотом, кількість яких залежить від ефективності захисту рідкого металу. На газонасиченість і якість наплавленого металу впливає газошлакоутворююча частина осердя порошкового дроту. Тому актуальним питанням є дослідження впливу складових СПД на насичення азотом і нітридами наплавленого металу. Насичення розплавленого металу газами відбувається як у краплях, так і у зварювальній ванні. При дослідженні впливу марки сталі оболонки на газонасиченість наплавленого металу та вміст неметалевих включень встановлено, що для оболонки СПД зі сталей 08кп, 08пс, 09Г2 мінімальна кількість неметалевих включень утворюються при використанні дроту з оболонкою 09Г2, при цьому також встановлена мінімальна розчинність газів в наплавленому металі. Аналіз впливу газошлакоутворюючої складової порошкового дроту на вміст азоту в наплавленому металі показав, що співвідношення компонентів: плавикий шпат CaF_2 , концентрат рутиловий TiO_2 , мармур CaCO_3 значно впливає на розчинність азоту в металі шва. За результатами досліджень отримана математична модель яка може бути використана при оптимізації газошлакоутворюючої частини самозахисних порошкових дротів, при плавленні яких утворюються шлаки основного характеру системи $\text{CaO} - \text{CaF}_2 - \text{TiO}_2$.

Ключові слова: деформуючий інструмент, самозахисний порошковий дріт, неметалеві включення, газонасиченість наплавленого металу, газошлакоутворююча складова порошкового дроту.

Надійність і ефективність ковальсько – пресового виробництва залежить від стійкості деформуючого інструменту. Такому інструменту для виготовлення труб і подібних виробів із сплавів на основі міді, що експлуатується в екстремальних силових і температурних умовах, притаманна відносно невисока стійкість. Заміна інструменту для обробки металу тиском, що вийшов з ладу, і подальше налаштування обладнання займають значний час, що знижує продуктивність праці, а зменшення терміну експлуатації інструменту різко підвищує витрати і, як наслідок, собівартість кінцевого продукту. Тому проблема підвищення стійкості такого інструменту має велике техніко-економічне значення.

Одним із шляхів вирішення даної проблеми є зміцнювальне та відновлювальне наплавлення робочого інструменту самозахисним порошковим дротом (СПД).

СПД є одним з найбільш універсальних електродних матеріалів для механізованого та автоматизованого електродугового наплавлення [1–8]. Складовими такого дроту є сталева оболонка, наповнювач осердя, що містить газо-шлакоутворювальну композицію та металеві порошки. Кожна з цих складових впливає на якість наплавленого металу.

Недоліком порошкового дроту є наявність порожнечі в його осерді, що може досягати до 20 % об'єму трубчатої конструкції дроту. При наплавленні таким дротом у дугу вводиться певна кількість кисню та азоту, що збільшує схильність наплавленого металу до утворення пір та неметалевих включень [1]. До того ж металеві порошки і метал оболонки мають певну газонасиченість і вміст неметалевих включень [9, 10].

В наукових джерелах відсутня інформація щодо впливу комплексу складових СПД на газонасиченість і якість наплавленого металу. При розробленні СПД значна увага приділяється обґрунтуванню і вибору газошлакоутворюючої системи дроту. Вибір шлакової системи, що надійно захищає метал від взаємодії з повітрям, аналіз складу компонентів СПД є важливим завданням при розробленні нових зварювальних матеріалів.

СПД для наплавлення розробляються, переважно, з урахуванням шлакових систем карбонатно - флюоритного типу, при плавленні яких утворюються основні шлаки [1, 2, 6, 7, 9, 11]. Газоутворюючу основу осердя складають карбонати лужноземельних та лужних елементів, основний оксид яких після розкладання карбонату бере участь в утворенні шлаку. Дроти

з осердям карбонатно - флюоритного типів мають високі показники продуктивності наплавлення, завдяки широкому діапазону технологічно прийнятних режимів наплавлення. Ці дроти в широкому діапазоні складів легуючої частини забезпечують добре формування валиків та відокремлення шлакової кірки, помірно розбризування [1, 7].

В роботах [1, 6] зазначено, що азот викликає пористість зварного шва, а кисень повітря сприяє збільшенню його розчинності. Тому, запобігання пористості, що виникає при наплавленні СПД, багато в чому залежить від ефективності захисту рідкого металу від азоту повітря. Якість захисту забезпечує газошлакоутворююча частина осердя порошкового дроту [7, 11]. У зв'язку з високими швидкостями плавлення порошкових дротів спостерігається малий час перебування компонентів СПД в зоні нагріву. Це позначається на повноті дисоціації карбонатів на стадіях дугового процесу. При наплавленні СПД захист електродних крапель та зварювальної ванни від азоту повітря менш надійний, ніж при плавленні дроту в захисних газах або зварюванні штучними електродами. Наявність азоту, адсорбованого рідким металом, є основною причиною виникнення пористості під час кристалізації зварювальної ванни [1, 6]. Азот з'єднується з рідким металом зварювальної ванни утворює нітриди, які перебувають у структурі металу у вигляді включень. Збільшення кількості азоту значно погіршує пластичні властивості металу, одночасно підвищує його твердість, міцність, схильність до утворення тріщин.

Метою даної роботи є дослідження впливу складових СПД на насичення азотом і нітридами наплавленого металу.

Насичення розплавленого металу газами відбувається як у краплях, так і у зварювальній ванні [1]. На стадії краплі процес відбувається більш інтенсивно, що має наступні причини:

- температура краплі вища за температуру зварювальної ванни;
- для краплі відношення контактної поверхні до об'єму більше ніж для ванни;
- крапля переміщується по торцю оболонки порошкового дроту.

Вміст газу, що розчиняється залежить від температури металу і визначається як:

$$[C]_r = a e^{-\frac{E}{2kT}},$$

де $[C]_r$ – вміст газу в металі, $\text{см}^3/100 \text{ г}$;

a і k – константи;

E – теплота розчинення;

T – абсолютна температура.

З підвищенням температури металу підвищується також розчинність в ньому азоту, причому в краплях розчинність вища. Можна допустити, що на стадії краплі розчинність газу відбувається тільки за рахунок процесів адсорбції і хемосорбції, оскільки при швидкоплинному переміщенні краплі до зварювальної ванни не встигає пройти процес переміщення продуктів адсорбції і хемосорбції в глиб краплі. Всі три стадії насичення притаманні металу зварювальної ванни. В наплавленому металі азот утворює нітриди як з залізом, так і більшістю металів які використовують в якості розкислювачів і легуючих (Fe_4N і Fe_2N , AlN , MnN , SiN , TiN , VN , CrN) та іншими металами в яких він розчинний.

Для оцінки впливу марки сталі оболонки на газонасиченість наплавленого металу тав міст неметалевих включень було виготовлено чотири СПД з шлаковою системою $\text{CaO} - \text{CaF}_2 - \text{TiO}_2$, склади яких відрізняються тільки матеріалом оболонки. Вміст кисню і азоту в металевих складових дроту наведено в табл. 1. Більший вміст азоту в сталях, що мають краще розкислення, наявність в їх складі Al , Mn , Si , Ti сприяє утворенню нітридів цих елементів Fe_2N , AlN , MnN , SiN , TiN [9, 10, 12]. В зразках матеріалу оболонки неметалеві включення присутні в вигляді сульфідів, силікатів, оксидів і нітридів. Кількість неметалевих включень в порошках не визначалась, але відомо, що в FeMn і FeSi їх вміст досягає рівня 0,4 %, в основному силікати і сульфіді [13].

Вміст азоту і кисню в компонентах СПД [9, 10]

Складові дроту	Найменування	Вміст кисню, %	Вміст азоту, %	Неметалеві включення	
				dcp, мкм	dmax, мкм
Порошкові матеріали	FeMn	2,11...2,31	0,033...0,037		
	FeSi	0,75...0,92	0,011...0,013		
	Fe порошок	0,60...0,83	0,0035...0,0041		
	Cr порошок	-	0,179...0,181		
Стрічка оболонки	08кп	0,045...0,05	0,004...0,008	7,1	8,5
	08сп	0,018...0,022	0,002...0,006	5,2	6,3
	09Г2	0,016...0,02	0,009...0,01	2,0	4,3
Основний метал	Ст3пс		0,002...0,003	5,4	6,5

Дослідженням зразків сталі оболонки встановлено, що метал всіх шліфів забруднений переважно дрібними сульфідними включеннями неправильної форми, середнім розміром від 7,1 мкм до 2,0 мкм (табл. 1), і також продовгуватої гострої форми, що ідентифікуються як нітриди. На рис. 1 наведені приклади загального забруднення металу оболонки дротів. Включення з мінімальною площею (до 5 мкм²) змінюються в межах від 39 % в оболонці зі сталі 08кп до 66 % в – 09Г2, а з максимальною площею (до 44 мкм²) характерні для оболонки зі сталі 08кп.

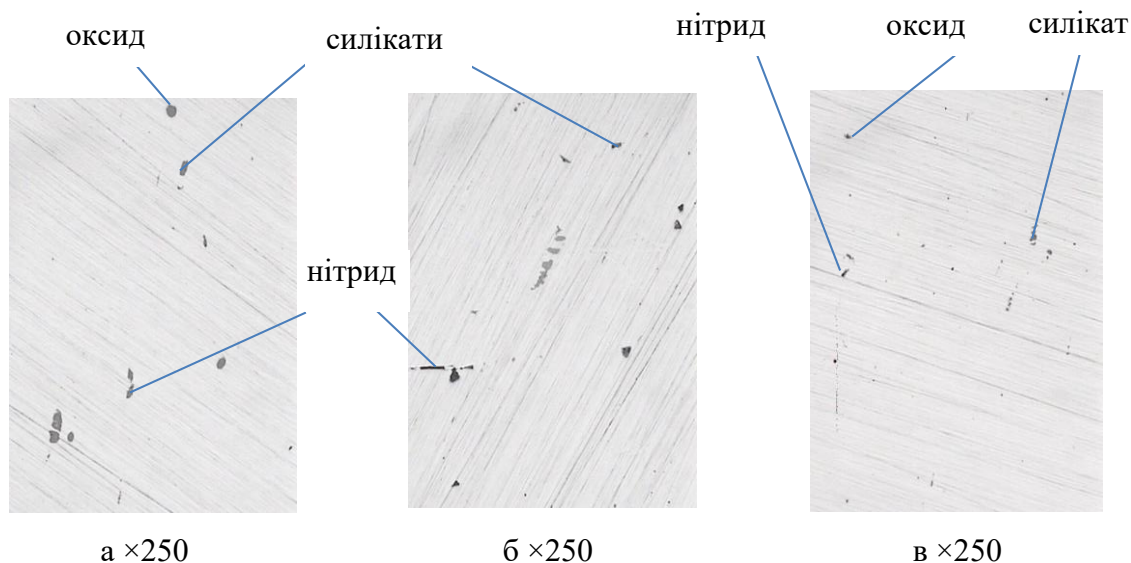


Рис. 1. Характерний вигляд неметалевих включень в металі оболонки порошкових дротів: а) 08кп, б) 08сп, в) 09Г2

Неметалеві включення є, в основному, дрібними глобулярними оксидами, що розміщені переважно всередині карбідної евтектики та силікатами різної форми (рис. 1). Середній вміст включень отримали шляхом графічного обліку програмою TESCAN по десяти полям огляду (табл. 2).

Досліджували зразки металу наплавленого СПД які різняться складом матеріалу оболонки. Коефіцієнт заповнення дроту змінювався в межах 0,32–0,35. Наплавлення виконували на постійному струмі зворотної полярності на режимі: $I_{зв} = 240-260$ А, $U_d = 23-24$ В, $V_{зв} = 18$ м/год. Хімічний склад металу наплавленого експериментальними порошковими дротами в усіх випадках в межах, (%): С 0,15-0,2; Si 1,4-1,5; Mn 1,6-1,9; Cr 4,2-4,5; Ti 0,16-0,25.

Аналіз вмісту кисню і азоту в сталі оболонки і наплавленому металі проводили на газоаналізаторі O₂ та N₂ фірми LEGO NO836 (Німеччина) на зразках вагою до 1 гр. Визначення газів на газоаналізаторі проводили не пізніше 36 годин після наплавлення.

Рівень забруднення наплавленого металу відповідає стану металу оболонки (табл. 2).

Таблиця 2

Результати дослідження наплавленого металу

Індекс зразка	Матеріал оболонки	Показники						
		Вміст газів, %		Домішки, %		Неметалеві включення		
		[O]	[N]	S	P	d _{ср} , мкм	d _{max} , мкм	вміст включень, %
A	08кп	0,032	0,046	0,028	0,03	5,2	7,5	0,6
B	08пс	0,024	0,032	0,025	0,021	3,4	5,1	0,25
C	09Г2	0,02	0,034	0,018	0,023	1,8	4,0	0,1

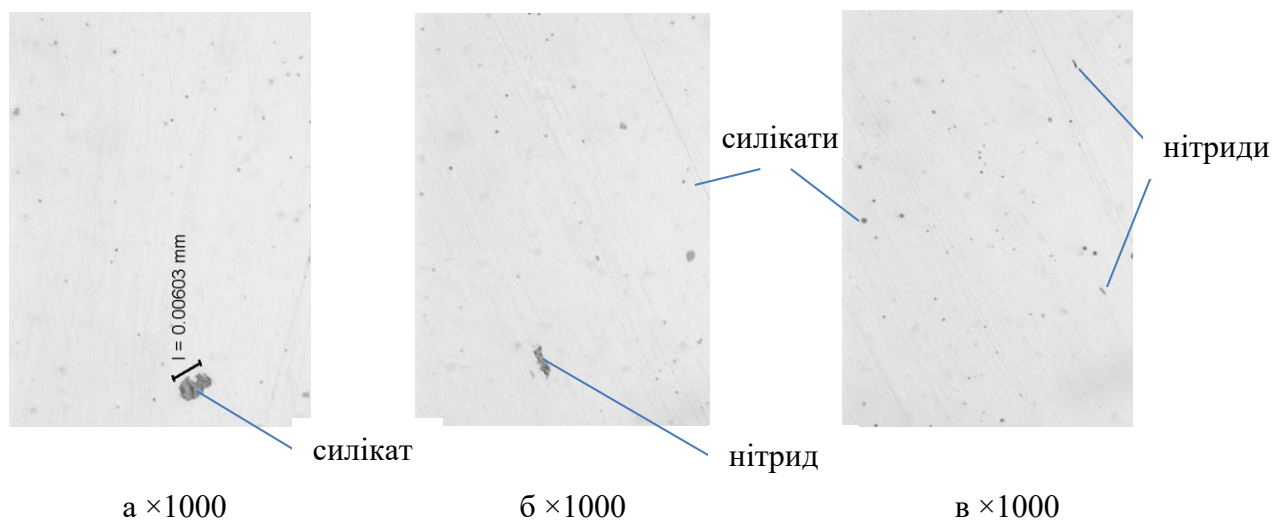


Рис. 2. Неметалеві включення в наплавленому металі СПД з оболонками: а) 08кп, б) 08пс, в) 09Г2

В наплавленому металі (рис. 2), в порівнянні з вихідним матеріалом (рис. 1), переважають включення менших розмірів, що пояснюється високою інтенсивністю перемішування металу і шлаку в зварювальній ванні. Шлак захоплює крупні включення і видаляє їх на межу розділу металеві і шлакової фаз з наступним поглинанням включень шлаком. Чим більше розмір включень, тим легше поглинаються вони шлаковою фазою [13–15].

Розчинність азоту змінюється від 0,001 при температурі 20 °С до 0,04 при температурі зварювальної ванни, та до 0,06 при температурі каплі (2500 °С) [1]. Азот вище його розчинності, при заданій температурі, знаходиться в металі у вигляді нітридів заліза та нітридів легуючих елементів. Враховуючи вміст азоту в наплавленому металі (табл. 2) можна констатувати, що мінімальна кількість нітридів утворюються при наплавленні СПД з оболонкою 09Г2 причому загальна кількість включень теж мінімальна.

При розробленні СПД для наплавлення робочого інструменту обробки металу тиском перспективним є застосування наступної шлакової основи наповнювача: мармур, плавиковий шпат, перовскітовий або рутиловий концентрат. В якості карбонатів в СПД та покриттях електродів, в основному, застосовують мармур CaCO₃, магнезит MgCO₃, сидерит FeCO₃, карбонат літія Li₂CO₃, поташ K₂CO₃, карбонат натрію Na₂CO₃ [16-20]. Наявність оксидів CaO, MgO, Li₂O, K₂O, Na₂O позитивно впливає на стабільність горіння дуги, а також сприяє видаленню домішок сірки і фосфору з наплавленого металу.

Варіювання вмістом газошлакоутворювальних матеріалів дозволяє впливати на кінетику газоутворення, рівномірність та повноту розкладання газоутворюючих компонентів композиції шихти наповнювача порошкового дроту, як на його вильоті, так і на стадії утворення електродної краплі та зварювальної ванни.

Процес горіння дуги на струмі прямої полярності протікає більш стабільно ніж на зворотній [1]. У зв'язку з тим, що малорухлива анодна пляма розташована на ванні, то при підвищенні напруги на дузі шлак і окисні плівки менше відтісняються з високотемпературної області зварювальної ванни, і умови її захисту не погіршуються. При наплавленні на зворотній полярності розташування малорухомої плями відповідно змінюється. При зварюванні СПД основного типу краплями вноситься 50–70 % азоту в наплавлений метал, а ванною поглинається 30–50 % азоту [6], тому газошлакоутворююча складова дроту повинна обмежувати поглинання азоту як на стадії утворення краплі, та і ванни.

У роботі [6] вказується, що вміст азоту змінюється незначно і визначається лише шлаковою фазою. Збільшення вмісту газоутворюючих компонентів у порошковому дроті (CaCO_3) веде до збільшення основності шлаку і, відповідно, до зменшення ступеня поглинання азоту металом ванни та зростання кількості азоту, що вноситься краплями. Оптимізація основності шлаку є одним із шляхів покращення зварювально-технологічних властивостей порошкового дроту. Збільшення вмісту карбонатів кальцію в газошлакоутворюючій частині шихти порошкового дроту понад 25 % призводить до значних втрат на розбризування.

Температурне поле при наплавленні порошковим дротом неоднорідне. Впливу максимальних температур (до 2500 К) піддається крапля на торці дроту і під час переміщення через стовп дугового розряду, а також передня частина зварювальної ванни, у всіх випадках розплавлений метал покритий плівкою рідкого шлаку. Найменше значення температур характерне для частини зварювальної ванни, що кристалізується, де шлак є єдиним джерелом захисту металу. У цих умовах неоднорідності температурного поля на різних стадіях утворення шару наплавленого металу домінуюча роль газової та шлакової фаз може змінюватись, але сприяють зменшенню кількості азоту в металі шва. В силу неможливості створення рівномірно спрямованого газового потоку, що огортає зону зварювання СПД, (подібно до того який утворюється при плавленні штучного електроду) і обмеженості кількості газоутворюючих компонентів, що містяться в наповнювачі, газова фаза при дисоціації цих мінералів є засобом захисту від адсорбції азоту.

При постійному рівні газового захисту, що забезпечується вмістом мармуру, вплив основності шлаку, що залежить від співвідношення $\text{CaF}_2/\text{TiO}_2$ - значний. Так, збільшення цього співвідношення з 0,25 до 4,0 призводить до зменшення загальної кількості азоту у металі шва на 25–30 %. Що може бути пояснено збільшенням текучості шлаку на поверхні краплі, розмірів перехідних крапель, отже, і їх поверхнею взаємодії з газовою фазою. Регулюючи вміст фторидів (CaF_2 , MgF_2 , NaF) у шлаковій фазі та основність, можна змінювати площу взаємодії рідкого металу на стадії краплі та ванни з азотом повітря в зоні зварювання.

Для отримання математичної моделі, що відображає вплив газошлакоутворюючої складової порошкового дроту на вміст азоту в наплавленому металі, досліджувалося 10 варіантів складу з різними співвідношеннями компонентів: плавиківий шпат CaF_2 , концентрат рутиловий TiO_2 , мармур CaCO_3 (табл. 3). Кількість газошлакоутворювальних компонентів у шихті наповнювача становила 13 масових відсотків. Легуюча частина шихти кожного наповнювача розраховувалася отримання наплавленого металу типу 40X12ГСВФ. Визначення газонасиченості металу проводилося за вище вказаною методикою. Наплавлення здійснювали в режимі $I_{зв} = 230\text{--}240$ А, $U_d = 24 - 25$ В, $V_{зв} = 18$ м / год.

Для аналізу результатів та побудови математичної моделі використовувалася програма Statistica 12. Дані отримані в результаті досліджень представлені у вигляді графіків та таблиць Statistica 12.

При створенні математичної моделі враховувалося те, що за основу прийнято симплексно-центроїдний план експерименту та рандомізований порядок дослідів [21].

Таблиця 3

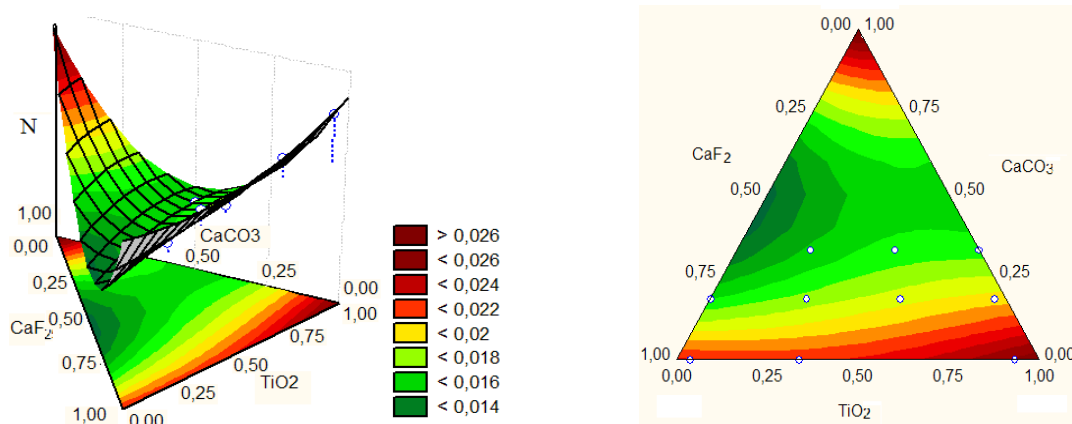
Результати статистичного аналізу

№	Склад газоплакоутворюючої частини осердя самозахисного порошкового дроту, відносних одиниць			Середнє значення вмісту азоту в наплавленні, %
	CaF ₂	TiO ₂	CaCO ₃	
1	0,2	0,8	0	0,025
2	0,175	0,7	0,125	0,02
3	0,155	0,622	0,223	0,016
4	0,35	0,525	0,125	0,018
5	0,311	0,467	0,222	0,017
6	0,525	0,35	0,125	0,017
7	0,467	0,311	0,222	0,015
8	0,8	0,2	0	0,022
9	0,7	0,175	0,125	0,016
10	0,6	0,4	0	0,022

Отримана модель має наступний вигляд:

$$N = 0,02379 \cdot CaF_2 + 0,02894 \cdot TiO_2 + 0,06565 \cdot CaCO_3 - 0,01711 \cdot CaF_2 \cdot TiO_2 - 0,13568 \cdot CaF_2 \cdot CaCO_3 - 0,12344 \cdot TiO_2 \cdot CaCO_3 + 0,17075 \cdot CaF_2 \cdot TiO_2 \cdot CaCO_3 \quad (1)$$

Графічне зображення поверхні відгуку представлено рис. 3.



а) тривимірне зображення

б) контурне зображення

Рис. 3. Графічні зображення отриманої моделі

Значимість отриманої моделі визначали за критерієм Ст'юдента при 5 % рівні:

$$\frac{Y_q - \bar{Y}}{S^2_i} \leq t \quad (2)$$

де S^2_i – розраховується за формулою (3) [21]:

$$S^2_i = \frac{\sum_{q=1}^n (Y_q - \bar{Y})^2}{n - 1} \quad (3)$$

де Y_q – результати окремого дослідження,

\bar{Y} – середньоарифметичне з чисельності дослідів,

n – кількість дослідів.

Розмір критерію Стьюдента $t = 0,00856$, оскільки отримана величина критерію Стьюдента менше $0,05$, то коефіцієнти значимі.

Адекватність отриманої моделі перевіряємо за критерієм Фішера:

$$F = \frac{S_{ад}^2(y)}{S^2(y)}. \quad (4)$$

де $S^2(y)$ – дисперсія дослідів, яка визначається за формулою:

$$S^2(y) = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N S_u^2, \quad (5)$$

де $S_{ад}^2(y)$ – дисперсія адекватності, яка визначається за формулою:

$$S_{ад}^2(y) = \frac{m}{N-1} \sum_{u=1}^N (y_u - y_u^l)^2, \quad (6)$$

де l – число значущих коефіцієнтів регресії;

N – кількість дослідів;

y_u – розрахункове значення відгуку моделі;

y_u^l – середнє значення відгуку з N паралельних дослідів.

Розрахунковий критерій Фішера $F = 31,01$ більше 1, отже, відношення дисперсій щодо моделі значиме [21].

Дана математична модель може бути використана при розробленні газо-шлакоутворюючих систем СПД із заданим вмістом компонентів шлакової системи в шихті порошкового дроту.

З побудованої моделі видно, що відсутність будь-якого з компонентів у системі, як і його добавка, більше 80 % призводить до різкого зростання вмісту азоту в металі шва. Це може бути пояснено зміною фізичних властивостей шлаку та рівнем газового захисту розплавленого металу.

ВИСНОВКИ

Отримана математична модель може бути використана при оптимізації газошлакоутворюючої частини самозахисних порошкових дротів, при плавленні яких утворюються шлаки основного характеру системи $CaO - CaF_2 - TiO_2$.

Встановлено, що вміст азоту в наплавленому металі визначається газошлаковою фазою, а оптимальний склад газошлакоутворюючої частини самозахисного порошкового дроту, при якому в наплавленому металі найменший вміст азоту, можна забезпечити таким співвідношенням: CaF_2 0,7...0,75; TiO_2 0,1...0,15; $CaCO_3$ 0,25...0,3. Відсутність будь-якого з компонентів у системі, як і його вміст вище 80 % призводить до різкого збільшення азоту в металі шва.

Вміст азоту у вихідних матеріалах порошкового дроту, наприклад, оболонці змінюється в межах 0,002...0,01 %, в порошках – 0,011...0,037 %, що менше ніж в наплавленому металі. Це свідчить про вплив на його вміст саме газошлакоутворюючої частини самозахисного порошкового дроту. Розміри і вміст неметалевих включень в наплавленому металі зменшуються, що пов'язано з інтенсивним перемішуванням зварювальної ванни.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Походня І.К. *Металургія дугового зварювання*. Київ: Наукова думка. 2004. 430 с.
2. Zharikov S.V., Grin A.G. Investigation of slag in surfacing with exothermic flux-cored wires. *Welding International*. 2015. 29. 5, pp. 386–389.
3. Metlitskii V.A. Flux-cored wires for arc welding and surfacing of cast iron. *Welding International*. 2008. 22, pp. 796–800.
4. Mendez P.F., Barnes N., Bell K., Borie S.D., Gajapathi S.S., Guest S.D. et al. Welding processes for wear resistant overlays. *J Manuf Process*. 2014. 16(1), pp. 4–12.

5. Trembach B., Grin A., Makarenko N., Zharikov S., Trembach I., Markov O. Influence of the core filler composition on the recovery of alloying elements during the self-shielded flux-cored arc welding. *Journal of Materials Research and Technology*. 2020. 9. 5, pp. 10520–10528.
6. Іоффе І.С., Зеленова В.І. Газовий та шлаковий захист від утворення азоту при зварюванні самозахисними порошковими дротами. *Зварювальне виробництво*. 1986. 8. С. 32–35.
7. Гринь А.Г., Карпенко В.М., Бойко І.В. Відокремлення шлакової кірки при наплавленні самозахисним порошковим дротом. *Вісник ДДМА*. 2006. 5. С. 169–173.
8. Жаріков С.В. Склад та властивості шлаку, що утворився при наплавленні штампового інструменту екзотермічним порошковим дротом. *Захист металургійних машин від поломок*. Маріуполь. 2008. 10. С. 270–273.
9. Камкіна Л.В., Мішалкін А.П., Камкін В.Ю., Грищенко Ю.М., Ісаєва Л.Є. Зменшення шкідливого впливу азоту на властивості низьковуглецевої сталі 08Ю шляхом підбору раціональної кількості нітридоутворюючих елементів. *Теорія і практика металургії*. 2019. 6. С. 16–23.
10. Калинюк М., Ісакова С., Пузрина Л. Аналізування металевих порошоків на вміст домішок кисню, азоту, водню. *Хімічна метрологія*. 2019. 5. С. 62–68.
11. Кирилюк Г.А., Юзвенко Ю.А. Взаємодія металу електрода та зварювальної ванни з азотом при наплавленні самозахисним порошковим дротом. *Автоматична зварювання*. 1983. 3. С. 46–47.
12. Гринь А.Г., Жаріков С.В., Соцький І.М. Підвищення механічних властивостей робочих поверхонь деталей машин через матеріал оболонки порошкового дроту. *Вісник ДДМА*. 2018. 2 (44). С. 35–40.
13. Гринь А.Г., Карпенко В.М., Богуцький А.А., Бойко І.А. Управління якістю наплавлення через матеріал оболонки порошкового дроту. *Вісник ДДМА*. 2006. 2 (4). С. 21–26.
14. Бабінець А.А., Рябцев І.О. Класифікація способів модифікування та мікролегування наплавленого металу. *Автоматичне зварювання*. 2021. 9. С.3–10.
15. Жданов Л.А. Стреленко Н.М., Нетяга А.В. Термодинамічне моделювання утворення неметалевих оксидних включень в металі шва при електродуговому зварюванні під висококремністими керамічними флюсами. *Вісник НТТУ «КПІ». Серія машинобудування*. 2016. 1 (76). С. 57–64.
16. Пат. № 75517 Україна. В23 К 35/30. Склад порошкового дроту. О.Г. Гринь, І.О. Бойко, В.А. Пресняков, [і інші]. Опубл. 10.12.2012. Бюл. № 23.
17. Пат. № 32990 Україна. В23 К 35/36. Склад електродного покриття. М.А. Калін, М.Г. Єфіменко, Л.В. Ширяєва. Опубл. 10.06.2008. Бюл. № 11.
18. Пат. № 41190 Україна. В23 К 35/30. Склад порошкового електрода. О.В. Шевченко, Є.І. Донченко, В.К. Лисак. Опубл. 12.05.2009. Бюл. № 9.
19. Пат. № 71039 Україна. В23 К 35/22, 35/36. Склад порошкового дроту. І.К. Походня, В.М. Шлепаков, С.М. Науменко. Опубл. 15.11.2004. Бюл. № 11.
20. Пат. № 61831 Україна. В23 К 35/00. Електродне покриття для зварювання різномірних сталей.. К. А. Ющенко, О. В. Булат, Ю. М. Каховський, [і інші]. Опубл. 25.07.2011. Бюл. № 14.
21. Тарарічкін І.О. Статистичні методи забезпечення якості продукції зварювального виробництва. Луганськ: вид-во СНУ ім. В. Даля, 2002. 336 с.

REFERENCES

1. Pokhodnia I.K. Metallurgy of arc welding. Kyiv: Naukova dumka. 2004. 430 p. (in Ukrainian).
2. Zharikov S.V., Grin A.G. Investigation of slag in surfacing with exothermic flux-cored wires. *Welding International*. 2015. 29. 5, pp. 386–389.
3. Metlitskii V.A. Flux-cored wires for arc welding and surfacing of cast iron. *Welding International*. 2008. 22, pp. 796–800.
4. Mendez P.F., Barnes N., Bell K., Borie S.D., Gajapathi S.S., Guest S.D. et al. Welding processes for wear resistant overlays. *J Manuf Process*. 2014. 16(1), pp 4–12.
5. Trembach B., Grin A., Makarenko N., Zharikov S., Trembach I., Markov O. Influence of the core filler composition on the recovery of alloying elements during the self-shielded flux-cored arc welding. *Journal of Materials Research and Technology*. 2020. 9. 5, pp. 10520–10528.
6. Ioffe I.S., Zelenova V.I. Gas and slag protection against nitrogen formation during welding with self-shielding flux cored wires. *Welding production*. 1986. 8, pp. 32–35. (in Ukrainian).
7. Hryn A.G., Karpenko V.M., Boyko I.V. Separation of the slag crust during surfacing with a self-shielding flux-cored wire. *Herald of DSEA*. 2006. 5, pp. 169–173. (in Ukrainian).
8. Zharikov S.V. The composition and properties of the slag formed during welding of a die tool with exothermic flux cored wire. *Protection of metallurgical machines from breakdowns*. Mariupol, 2008. 10, pp. 270–273. (in Ukrainian).
9. Kamkina L.V., Mishalkin A.P., Kamkin V.Yu., Hryshchenko Yu.M., Isayeva L.E. Reduction of the harmful effect of nitrogen on the properties of low-carbon steel 08U by selecting a rational number of nitride-forming elements. *Theory and practice of metallurgy*. 2019. 6, pp. 16–23. (in Ukrainian).
10. Kalyniuk M., Isakova S., Puzryna L. Analysis of metal powders for the content of oxygen, nitrogen, and hydrogen impurities. *Chemical metrology*. 2019. 5, pp. 62–68. (in Ukrainian).
11. Kirilyuk G.A., Yuzvenko Yu.A. The interaction of the metal of the electrode and the welding bath with nitrogen during welding with self-shielding flux cored wire. *Automatic welding*. 1983. 3, pp. 46–47. (in Ukrainian).

12. Gryn A.G., Zharykov S.V., Sotskyi I.M. Increasing the mechanical properties of the working surfaces of machine parts due to the powder-coated wire sheath material. *Herald of DSEA*. 2018. 2 (44), pp. 35–40. (in Ukrainian).
13. Hryn A.G., Karpenko V.M., Bogutsky A.A., Boyko I.A. Controlling the quality of surfacing through the material of the sheath of flux-cored wire. *Herald of DSEA*. 2006. 2 (4), pp. 21–26. (in Ukrainian).
14. Babinets A.A., Ryabtsev I.O. Classification of methods of modification and microalloying of deposited metal. *Automatic welding*. 2021. 9, pp.3–10. (in Ukrainian).
15. Zhdanov L.A. Strelenko N.M., Netyaga A.V. Thermodynamic modeling of the formation of non-metallic oxide inclusions in the weld metal during electric arc welding under high-silica ceramic fluxes. *Bulletin of NTU "KPI". Mechanical engineering series*. 2016. 1 (76), pp 57–64. (in Ukrainian).
16. Pat. 75517 Ukraine, IPC B23 K 35/30. Composition of flux-cored wire / O. G. Hryn, I. O. Boyko, V. A. Presnyakov, [and others]. Publ. 10.12.2012; Bul. No. 23. .
17. Pat. 32990 Ukraine, IPC B23 K 35/36. The composition of the electrode coating. M. A. Kalin, M. G. Yefimenko, L. V. Shiryayeva. Publ. 10.06.2008; Bul. No. 11. – 5 p.
18. Pat. 41190 Ukraine, IPC B23 K 35/30. Powder electrode composition. O.V. Shevchenko, E.I. Donchenko, V.K. Lysak. Publ. 05/12/2009; Bul. No. 9.
19. Pat. 71039 Ukraine, IPC B23 K 35/22, 35/36. Composition of flux-cored wire. I.K. Pokhodnya, V.M. Shlepakov, S.M. Naumenko. Publ. 11/15/2004; Bul. No. 11.
20. Pat. 61831 Ukraine, IPC B23 K 35/00. Electrode coating for welding dissimilar steels / K. A. Yushchenko, O. V. Bulat, Yu. M. Kakhovsky, [and others]. Publ. 25.07.2011; Bul. No. 14.
21. Tararichkin I. O. Statistical methods of ensuring the quality of products of welding production. I.O. Tararichkin. Luhansk: V. Dalya SNU publishing house, 2002. 336 p. (in Ukrainian).

Grin O., Zharikov S. Improving the quality of melted metal during the restoration of the working surface of the press tool.

The analysis of literature data showed that the reliability and efficiency of forging and press production depends on the stability of the deforming tool, the improvement of which is of great technical and economic importance. One of the ways to increase stability is strengthening and restorative surfacing of the working tool with self-shielded flux-cored wire (SFW). One of the disadvantages of SFW is the formation of pores and non-metallic inclusions caused by nitrogen in the deposited metal, the amount of which depends on the effectiveness of the protection of the liquid metal. Gas saturation and the quality of the deposited metal are affected by the gas slag-forming part of the flux-cored wire core. Therefore, an urgent issue is the study of the influence of SFW components on nitrogen and nitride saturation of the molten metal. The saturation of the molten metal with gases occurs both in drops and in the welding bath. When studying the influence of the sheath steel grade on the gas saturation of the deposited metal and the content of non-metallic inclusions, it was found that for SFW sheaths made of 08кп, 08нс, 09Г2 steels, the minimum number of non-metallic inclusions is formed when using a wire with a 09Г2 sheath, while also establishing a minimum solubility of gases in the deposited metal. The analysis of the effect of the gas-slag-forming component of the flux-cored wire on the nitrogen content in the welded metal showed that the ratio of the components: fluorspar CaF_2 , rutile concentrate TiO_2 , marble CaCO_3 significantly affects the solubility of nitrogen in the weld metal. Based on the results of our research, a mathematical model was obtained that can be used in the optimization of the gas slag-forming part of self-shielded flux cored wires, during the melting of which slags of the main character of the $\text{CaO} - \text{CaF}_2 - \text{TiO}_2$ system are formed.

Key words: deforming tool, self-shielded powder wire, non-metallic inclusions, gas saturation of deposited metal, the gas slag-forming component of the flux-cored wire.

Гринь Олександр Григорович – канд. техн. наук, доц., декан ДДМА

Grin Oleksandr – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Dean DSEA

E-mail: mf@dgma.donetsk.ua

ORCID: <https://orcid.org/%200000-0002-3432-8149>

Жаріков Сергій Володимирович – канд. техн. наук, доц. ДДМА

Zharikov Serhii – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor DSEA

E-mail: mf@dgma.donetsk.ua

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8754-9447>

ДДМА – Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ-Тернопіль.

DSEA – Donbass State Engineering Academy, Kramatorsk-Ternopil.