

ВПЛИВ СКЛАДУ ШИХТИ ПОРОШКОВОГО ДРОТУ ПП-НП-120ВЗХМФ НА ХІМІЧНИЙ СКЛАД ЗВАРЮВАЛЬНИХ АЕРОЗОЛІВ ПРИ ДУГОВОМУ НАПЛАВЛЕННІ ПІД ФЛЮСОМ

І.П. Лентюгов, О.М. Безушко, І.І. Рябцев, Л.Л. Окопнік, М.І. Лентюгов

ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України. 03150, Україна, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: gavs04@ukr.net

Представлено результати дослідження хімічного складу та рівня виділення зварювальних аерозолів, які утворюються при дуговому наплавленні під флюсом порошковим дротом ПП-Нп-120ВЗХМФ(л) з шихтою із лігатури, яка отримана у результаті електрошлакового переплаву відходів абразивної обробки швидкорізальних сталей, та порошковим дротом ПП-Нп-120ВЗХМФ(фс) з шихтою із феросплавів. Встановлено, що обидва порошкові дроти належать до класу 1а, токсичність твердої складової зварювального аерозолу у них практично однакова, при цьому порошковий дріт з шихтою із лігатури показує кращі результати за показником токсичності $LV_{WF(A)}$ і за інтенсивністю виділення зварювального аерозолу. Запропоновано рекомендації щодо захисту наплавників та навколишнього середовища від зварювальних аерозолів при використанні розробленого порошкового дроту ПП-Нп-120ВЗХМФ(л). Бібліогр. 10, табл. 7, рис. 5.

Ключові слова: порошковий дріт, дугове наплавлення, лігатура, зварювальний аерозоль, шкідливі речовини, показники рівнів виділення, охорона здоров'я

Вступ. У процесі дугового зварювання та наплавлення під флюсом відбувається взаємодія розплавленого металу зі шлаком і газами. При цьому в повітрі робочої зони утворюється зварювальний аерозоль (ЗА) у вигляді твердої й газової складових, що є одним з найнебезпечніших чинників, які негативно впливають на організм зварників (наплавників) [1]. Знання шкідливих факторів і процесів їх утворення дають можливість розробляти санітарно-гігієнічні рекомендації при виробництві та використанні порошкових дротів для дугового наплавлення та зварювання.

При наплавленні (зварюванні) під флюсом зварювальна дуга закрита шаром флюсу (шлаку), унаслідок чого усувається шкідливий вплив випромінювання дуги, відсутні іскри та бризки розплавленого металу, рівень шуму дуги незначний. Джерелами утворення зварювального аерозолу є переважно сам флюс (шлак), а також порошковий дріт. Разом з тим, шар флюсу (шлаку) виконує роль своєрідного фільтра, при проходженні через який основний потік ЗА осідає, і лише незначна частина розсіюється у навколишньому середовищі [2].

Широко відомо, що рівень виділень зварювального аерозолу визначається потужністю зварювальної дуги, тобто залежить від діаметра дроту, що використовується, і, відповідно, від режиму наплавлення (зварювання) [3–4]. Хімічний склад зварювального аерозолу при дуговому наплавлен-

ні під флюсом визначається складом електродного порошкового дроту та флюсу. Обов'язковими компонентами зварювального аерозолу, що утворюється під час наплавлення (зварювання) порошковим дротом під флюсом, є сполуки марганцю, кремнію, заліза, інших легуючих елементів, а також розчинні та нерозчинні фториди. Крім того, під час наплавлення під флюсом у повітря робочої зони надходять фтористий водень і тетрафтористий кремній, а також незначна кількість оксидів азоту та монооксиду вуглецю.

Мета роботи – визначити вплив попереднього електрошлакового переплаву шихти порошкового дроту ПП-Нп-120ВЗХМФ на його санітарно-гігієнічні показники при дуговому наплавленні під флюсом.

Матеріали та методики досліджень. При виготовленні порошкового дроту для наплавлення у якості оболонки зазвичай використовують холоднокатану стрічку із низьковуглецевої сталі марки 08кп завтовшки 0,2...1,0 мм і завширшки 8...20 мм. У якості шихти використовують феросплави (феромарганець, ферохром, феровольфрам, ферованадій та ін.), чисті метали, як то: залізний порошок, графіт, кремнефтористий натрій та інші матеріали. При наплавленні порошковий дріт розплавляється й компоненти шихти потрапляють у зварювальну ванну, забезпечуючи отримання легovanого наплавленого металу. Флюс або газо- і шлакоутворюючі матеріали шихти порошкового дроту

Лентюгов І.П. – <https://orcid.org/0000-0001-8474-6819>, Безушко О.М. – <https://orcid.org/0000-0002-6148-1675>,
Рябцев І.І. – <https://orcid.org/0000-0001-7550-1887>, Окопнік Л.Л. – <https://orcid.org/0009-0004-4998-9857>,
Лентюгов М.І. – <https://orcid.org/0009-0006-9282-0410>

© І.П. Лентюгов, О.М. Безушко, І.І. Рябцев, Л.Л. Окопнік, М.І. Лентюгов, 2025

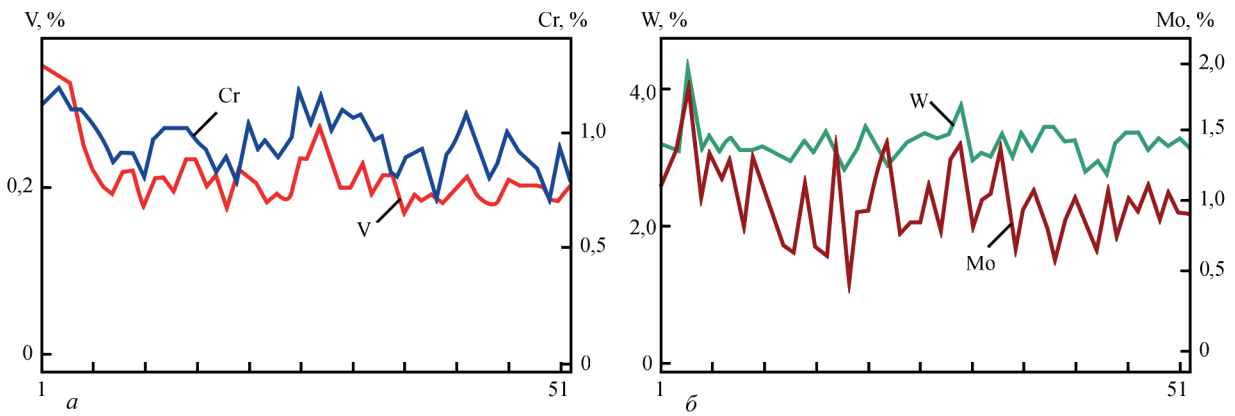


Рис. 1. Розподіл Cr, V (а) і W, Мо (б) у металі, наплавленому дослідним порошковим дротом ПП-Нп-120В3ХМФ(л): довжина 150 мкм, крок 3 мкм

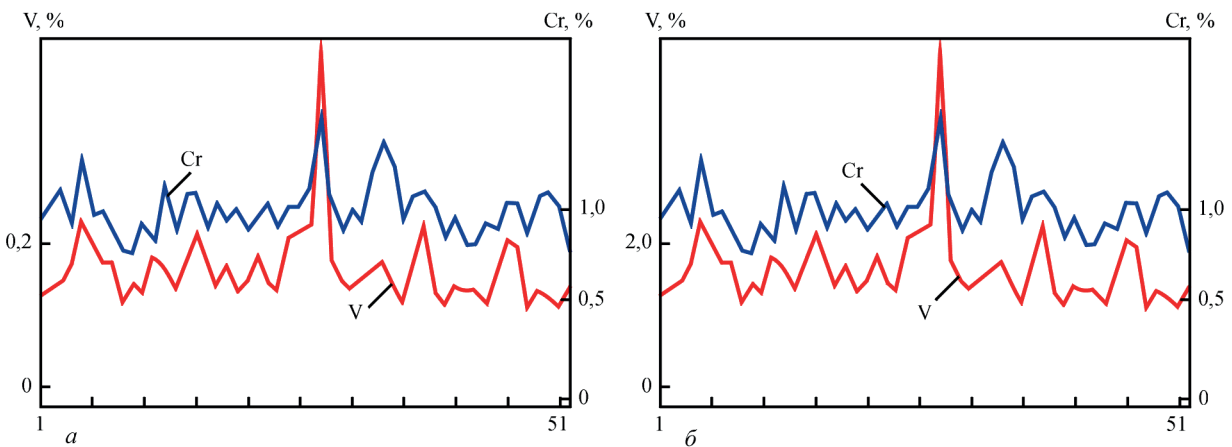


Рис. 2. Розподіл Cr, V (а) і W, Мо (б) у металі, наплавленому дослідним порошковим дротом ПП-Нп-120В3ХМФ(фс): довжина 150 мкм, крок 3 мкм

при їх плавленні забезпечують захист металу від кисню та азоту повітря [5].

При розробці порошкового дроту ПП-Нп-120В3ХМФ у якості шихти використовували лігатуру, яку отримали електрошлаковим переплавом відходів абразивної обробки швидкорізальних сталей [6]. У склад лігатури входять усі легуючі елементи наплавленого металу типу швидкорізальної сталі 120В3ХМФ. Для порівняння використовували порошковий дріт ПП-Нп-120В3ХМФ, у якості шихти якого застосовували феросплави.

Результати досліджень та їх обговорення. Легування за допомогою лігатури дає стабільніші результати щодо розподілу основних легуючих елементів у металі, наплавленому дослідним порошковим дротом ПП-Нп-120В3ХМФ(л) з шихтою із лігатури (рис. 1) у порівнянні з дослідним порошковим дротом ПП-Нп-120В3ХМФ(фс) з шихтою із феросплавів, який забезпечує отримання наплавленого металу того ж типу (рис. 2).

При використанні порошкового дроту типу ПП-Нп-120В3ХМФ(л) спостерігається змен-

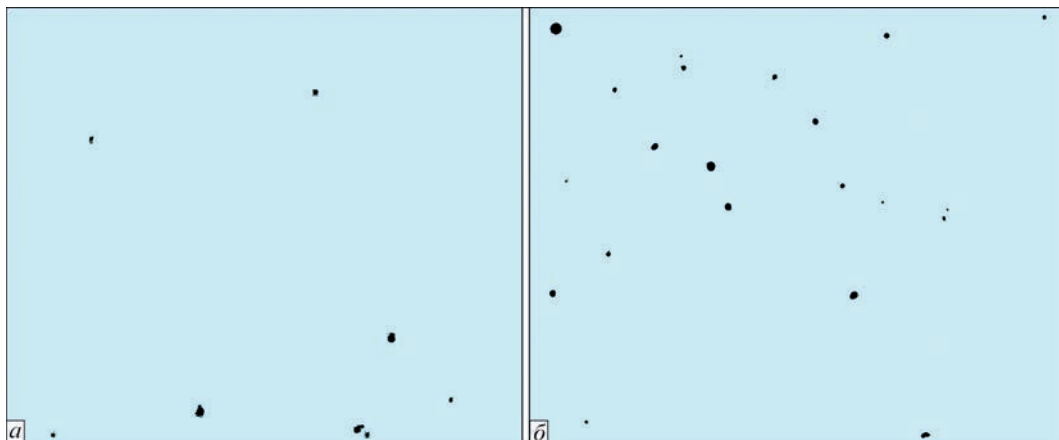


Рис. 3. Мікроструктура полірованих нетравлених зразків, наплавлених порошковими дротами ПП-Нп-120В3ХМФ(л) (а) і ПП-Нп-120В3ХМФ(фс) (б), $\times 500$

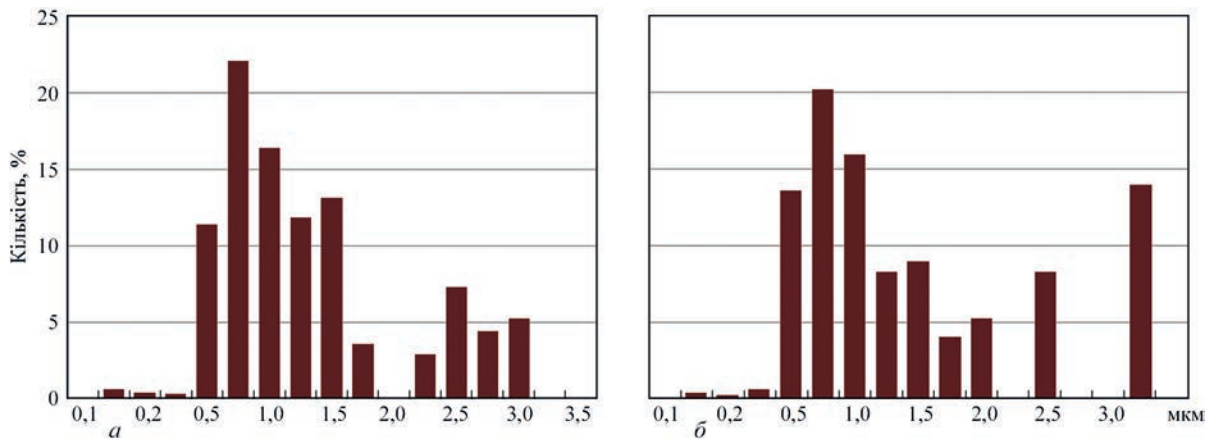


Рис. 4. Розподіл об'ємної частки неметалевих включень за розмірами у металі, наплавленому порошковими дротами ПП-Нп-120В3ХМФ(л) (а) та ПП-Нп-120В3ХМФ(фс) (б)

шення кількості та об'ємної частки неметалевих включень у наплавленому металі, у порівнянні з металом, наплавленим порошковим дротом ПП-Нп-120В3ХМФ(фс) (рис. 3, 4).

Об'ємна частка неметалевих включень у металі, наплавленому порошковим дротом ПП-Нп-120В3ХМФ(л), склала 0,18 %, а в металі, наплавленому порошковим дротом ПП-Нп-120В3ХМФ(фс) – 0,27 %.

Проведено порівняння санітарно-гігієнічних характеристик зварювального аерозолі, що виділяється при наплавленні під флюсом АН-72 порошковим дротом ПП-Нп-120В3ХМФ(л) з шихтою із лігатури та порошковим дротом ПП-Нп-120В3ХМФ(фс) з шихтою із феросплавів.

Хімічний склад флюсу для наплавлення та матеріалів, які використовувалися при виготовленні порошкових дротів, наведено в табл. 1–4. Відсотковий склад порошкового дроту ПП-Нп-120В3ХМФ(л) з шихтою із лігатури та порошкового дроту ПП-Нп-120В3ХМФ(фс) з шихтою із феросплавів наведено на рис. 5.

Для оцінки токсичності порошкових дротів з шихтою із лігатури та феросплавів було проведено їхньою санітарно-гігієнічну оцінку у відповідності до міжнародних стандартів ДСТУ ISO 15011-1:2008 [7] та ДСТУ ISO 15011-4:2008 [8]. Ці стандарти дозволяють отримати необхідну інформацію про хімічний склад зварювального аерозолі та орієнтовно розрахувати ризик їхньою шкідливої дії на організм зварника (наплавника). Для цього визначили та проаналізували розрахун-

Таблиця 1. Хімічний склад флюсу АН-72

Марка флюсу	Масова частка компонентів, %					
	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	CaF ₂	FeO	ZrO ₂
АН-72	18,0	20,0	23,0	40,0	≤0,5	2,0

Таблиця 2. Хімічний склад стрічки зі сталі 08кп

Марка сталі	Масова частка компонентів, %						
	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cu
Стрічка сталі 08кп	0,05-0,11	≤0,03	0,25-0,5	≤0,25	≤0,04	≤0,035	≤0,25

Таблиця 3. Хімічний склад лігатури

Матеріал	Масова частка компонентів лігатури, %						
	C	Si	Cr	Mo	W	V	S
Лігатура	3,5	0,25	2,9	2,3	8,7	0,6	0,001

Таблиця 4. Хімічний склад матеріалів шихти порошкового дроту ПП-Нп-120В3ХМФ(фс)

Назва та марка матеріалу	Масова частка компонентів, %											
	Cr	C	Si	P	S	W	Fe	Mo	V	Cu	As	Інші
Ферохром, ФХ-800	≥65	8,0	2,0	0,03	0,06	–	–	–	–	–	–	–
Реліт, WC	–	3,6...4,0	–	–	–	95,8...96,4	0,15	–	–	–	–	–
Феромолібден, ФМ-60	–	0,05	0,8	0,05	0,1	0,3	–	≥60	–	0,5	0,02	0,01 Pb 0,01 Zn 0,01 Bi 0,01 Sn
Ферованадій, (ФВ-40У1)	–	1,0	2,0	0,1	0,05	–	–	–	35...48	0,4	0,03	6,0 Mn 0,5 Al
Феровольфрам, ФВ-70	–	0,5	0,8	0,06	0,1	≥70	–	2	–	0,2	0,05	0,5 Mn 0,1 Sn
Залізний порошок ПЖВ-2	–	0,02	0,1	0,02	0,02	–	≥99	–	–	–	–	0,35 Mn
Графіт	–	≥98	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

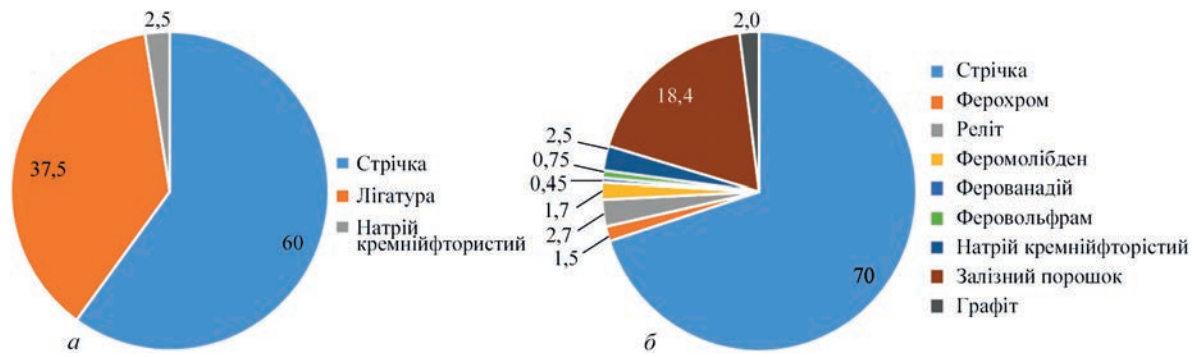


Рис. 5. Склад дроту, %: ПП-Нп-120В3ХМФ(л) з шихтою із лігатури (а); ПП-Нп-120В3ХМФ(фс) з шихтою із феросплавів (б)

Таблиця 5. Хімічний склад і питомі виділення зварювального аерозолю

Марка дроту	V_a^* , г/хв	G_a^{**} , г/кг	Масова частка компонентів ЗА, %					
			CrO ₃	Cr ₂ O ₃	Mn	W	F _{раств.}	F _{нер.}
ПП-Нп-120В3ХМФ(л)	0,031	0,53	0,86	0,76	3,22	4,68	6,17	6,56
ПП-Нп-120В3ХМФ(фс)	0,073	1,06	0,87	0,73	4,32	4,75	5,61	7,67

* – інтенсивність утворення ЗА, ** – питомі виділення ЗА.

кові показники токсичності [8]: граничне значення зварювального аерозолю $LV_{WF(A)}$ та гігієнічний клас порошкових дротів, який, у свою чергу, визначається цим граничним значенням та інтенсивністю виділення зварювального аерозолю.

Був проведений хімічний аналіз зварювального аерозолю при наплавленні порошковими дротами діаметром 2 мм ПП-Нп-120В3ХМФ(л) та ПП-Нп-120В3ХМФ(фс). Режим наплавлення: $U_d = 26$ В, $I = 240$ А, швидкість наплавлення 20 м/год. Визначення хімічного складу та показників рівнів виділень зварювального аерозолю виконувалося експериментальним шляхом згідно з методичним вказівкам [9–10]. Результати дослідження хімічного складу та питомих виділень зварювального аерозолю наведено в табл. 5.

Для зручності порівняння досліджуваних компонентів, що входили до складу дротів, та цих отриманих компонентів у зварювальному аерозолі проведено розрахунки відсоткового їхнього вмісту у дротах. Результати розрахунків, які проводилися методом пропорцій, наведені в табл. 6.

Таблиця 6. Розрахований вміст досліджуваних компонентів у складі порошкових дротів

Марка дроту	Масова частка компонентів дроту, %		
	Cr	Mn	W
ПП-Нп-120В3ХМФ(л)	1,1475	0,3	3,2625
ПП-Нп-120В3ХМФ(фс)	1,045	0,445	3,1329

Таблиця 7. Гігієнічна характеристика зварювального аерозолю

Марка дроту	Інтенсивність виділення ЗА V_a , мг/с	Граничне значення ЗА $LV_{WF(A)}$, мг/м ³	Клас дроту
ПП-Нп-120В3ХМФ(л)	0,517	0,623	1а
ПП-Нп-120В3ХМФ(фс)	1,217	0,602	1а

Розрахунок граничного значення зварювального аерозолю (табл. 7) проводився за наступним рівнянням:

$$LV_{WF(A)} = 100 / \left(\sum_{i=1}^n \frac{i}{LV_i} + \frac{\left(100 - \sum_{i=1}^n i \right)}{LV_{WF}} \right)$$

де $LV_{WF(A)}$ – сумарне граничне значення зварювального аерозолю, мг/м³; n – число основних компонентів зварювального аерозолю; i – частка i -го головного компонента зварювального аерозолю, %; LV_i – граничне значення (ГДК) для i -го головного компонента зварювального аерозолю, мг/м³; LV_{WF} – граничне значення для зварювального аерозолю, що включає хімічні речовини з низькою, середньою токсичністю, якщо така границя була встановлена, або граничне значення для пилу, що вдихається, якщо не було встановлено граничне значення зварювального аерозолю, мг/м³.

Отримані результати показують, що розрахований вміст легуючих елементів – хрому, марганцю та вольфраму в складі порошкових дротів з лігатурою та з феросплавами суттєво не відрізняється (табл. 6). Вміст цих компонентів у ЗА також практично не відрізняється (табл. 5).

Висновки

Результати досліджень показують, що обидва порошкові дроти ПП-Нп-120В3ХМФ(л) та ПП-Нп-120В3ХМФ(фс) належать до класу 1а, токсичність твердої складової зварювального аерозолю у них практично однакова, при цьому порошковий дріт з шихтою із лігатури показує кращі результати за токсичністю $LV_{WF(A)}$ та за інтенсивністю виділення зварювального аерозолю. Порошковий дріт з ших-

тою із лігатури ПП-Нп-120V3ХМФ(л) може бути рекомендований для використання у промисловості.

Список літератури

1. Походня І.К., Явдошин І.Р., Губеня І.П. (2011) Сварочний аерозоль – фактори впливу, фізичні властивості, методи аналізу (Обзор). *Автоматическая сварка*, **6**, 39–42.
2. Левченко О.Г., Метлицкий В.А., Рябцев І.А., Грищенко С.А. (2003) Санитарно-гігієнічна оцінка наплавочних порошкових проволочок. *Автоматическая сварка*, **8**, 42–46.
3. Левченко О.Г. (2010) *Охорона праці у зварювальному виробництві. Навчальний посібник*. Київ, Основа.
4. Левченко О.Г. (2004) *Гігієна праці та виробнича санітарія у зварювальному виробництві. Навчальний посібник*. Київ, Основа.
5. Рябцев І.А., Сенченков І.К. (2013) *Теорія і практика наплавочних работ*. Киев, Экотехнология.
6. Лентюгов І.П., Рябцев І.А. (2015) Структура і свойства металла, наплавленого порошковою проволочкою з шихтой із переработаних металлоабразивных отходов. *Автоматическая сварка*, **5-6**, 94–96.
7. ДСТУ ISO 15011-1:2008. *Охорона здоров'я та безпека у зварюванні та споріднених процесах. Лабораторний метод відбирання аерозолів і газів, утворених під час дугового зварювання. Частина 1. Визначення рівня виділень і відбір проб для аналізу мікрочастинок аерозолів. Чинний від 2008-08-15*. Київ, Держспоживстандарт України.
8. ДСТУ ISO 15011-4:2008. *Охорона здоров'я та безпека у зварюванні та споріднених процесах. Лабораторний метод відбирання аерозолів і газів. Частина 4. Форма для запису даних про аерозолі. Чинний від 2008-08-15*. Київ, Держспоживстандарт України.
9. Левченко О.Г., Полукаров Ю.О., Безушко О.М., Гончарова О.М. (2022) Системи гігієнічної оцінки зварювальних матеріалів в Україні (Частина 1). *Автоматичне зварювання*, **3**, 53–58. DOI: <https://doi.org/10.37434/as2022.03.07>
10. Левченко О.Г., Полукаров Ю.О., Безушко О.М., Гончарова О.М. (2022) Системи гігієнічної оцінки зварювальних матеріалів в Україні (Частина 2). *Автоматичне зварювання*, **5**, 47–55. DOI: <https://doi.org/10.37434/as2022.05.07>

INFLUENCE OF THE CHARGE COMPOSITION OF THE FLUX-CORED WIRE PP-NP-120V3KHMФ ON THE CHEMICAL COMPOSITION OF WELDING FUMES DURING SUBMERGED ARC SURFACING

I.P. Lentyugov, O.M. Bezushko, I.I. Ryabtsev, L.L. Okopnik, M.I. Lentyugov

E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine. 11 Kazymyr Malevych Str., 03150, Kyiv, Ukraine.

E-mail: gavs04@ukr.net

The paper presents the results of the study of the chemical composition and emission level of welding fumes formed during submerged arc surfacing using flux-cored wire PP-Np-120V3KhMF(l) with a charge of master alloy produced as a result of electroslag remelting of waste from abrasive machining of high-speed steels, and using flux-cored wire PP-Np-120V3KhMF(fs) with a charge of ferroalloys. It was found that both flux-cored wires belong to 1a grade, the toxicity of the solid component of the welding fume is almost the same, while the flux-cored wire with a charge of master alloy shows better results in terms of the *LVWF(A)* toxicity index and the intensity of the welding fume emission. Recommendations are proposed for protecting welders and the environment from welding fumes when using the developed flux-cored wire PP-Np-120V3XMF(l). 10 Ref., 7 Tabl., 5 Fig.

Keywords: flux-cored wire, arc surfacing, master alloy, welding fume, harmful substances, emission levels, health protection,

Отримано 03.10.2025

Отримано у переглянутому вигляді 06.11.25

Прийнято 19.12.2025

З АВТОМАТИЧНЕ ЗВАРЮВАННЯ

ТОВ «ВИДАВНИЧИЙ ДІМ «ПАТОН»

03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11

тел./факс: (38044) 205-23-90, E-mail: journal@paton.kiev.ua

<https://patonpublishinghouse.com/ukr/journals/as>

ПІДПИШІТЬСЯ СЬОГОДНІ

Передплата доступна
у друкованому
та цифровому форматах!

