

# ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ НИЗЬКОВОДНЕВИХ ПЛАВЛЕНИХ ФЛЮСІВ

І.О. Гончаров, В.В. Головка, А.П. Пальцевич, А.М. Дученко

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

Досліджено вплив технології виготовлення зварювальних плавлених флюсів на вміст в них водню і характер його термічної десорбції. Із флюсів, виготовлених методом дуплекс-процесу (послідовно працюючих газополуменевої і електродугової печі), водень переважно видаляється при температурах до 600 °С. Встановлено, що вміст дифузійного водню в наплавленому металі при зварюванні під плавленими флюсами, виготовленими методом дуплекс-процесу, приблизно на 30 % нижче у порівнянні із флюсами, виготовленими в газополумєневих печах. Запропоновано використання у складі шихти при виготовленні агломерованих флюсів плавлених напівпродуктів. Бібліогр. 12, табл. 3, рис. 2.

*Ключові слова:* водень, автоматичне дугове зварювання під плавленими флюсами

**Вступ.** Водневе окрихчення та утворення пор в зварних швах є поширеними, небезпечними та недостатньо вивченими причинами руйнування багатьох сталевих металоконструкцій [1, 2]. При зварюванні високоміцних сталей під впливом термічного циклу в металі можливе утворення структур, які, з одного боку, сприяють значному зміцненню металу, а з іншого – підвищують його схильність до утворення холодних тріщин [3, 4]. Здатність металу опиратися зародженню і розвитку холодних тріщин зростає із зниженням концентрації в ньому дифузійного водню. Встановлено умови, за яких ризик утворення холодних тріщин у зварних з'єднаннях зводиться до мінімуму. Так, у разі обмеження швидкості охолодження металу в інтервалі температур 600...500 °С до 10 °С/с, а вмісту дифузійного водню в наплавленому металі до 4 см<sup>3</sup>/100 г, рівень напружень, який метал зони термічного впливу (ЗТВ) зварних з'єднань зі сталей з вуглецевим еквівалентом  $C_e = 0,35...0,45$  % може витримати без утворення холодних тріщин, становить 90 % від його границі плинності [5].

Загальновідомо, що основною причиною утворення пор у швах при зварюванні сталей є підвищений вміст водню в металі зварювальної ванни і його виділення в момент кристалізації внаслідок стрибкоподібного зниження розчинності [6]. Вміст водню в металі шва, при перевищенні якого у швах при зварюванні низьколегованих сталей під марганцево-силікатними флюсами утворюються пори, складає 12...14 см<sup>3</sup> на 100 г металу шва [7].

Дуга при автоматичному зварюванні під флюсом горить у закритій оболонці, створюваній розплавленим шлаком й шаром флюсу. Доступ водню в зону дуги ззовні ускладнений. Джерелами насичення зварювальної ванни воднем є флюс, масло й іржа на поверхні зварювального дроту й на крайках металу, що зварюється. При цьому флюс

визначається головним джерелом водню. Тому важливим є дослідження вмісту водню у зварювальних плавлених флюсах і процесу його термічної десорбції, створення технологій виготовлення низьководневих зварювальних плавлених флюсів.

**Методика досліджень вмісту водню в зварювальних флюсах.** Для керування процесами зневоднення флюсів в процесі їх виготовлення і використання при зварюванні важливо знати особливості перебігу процесу його десорбції в процесі нагрівання. Для вимірювання вмісту потенційного водню в покриттях електродів, флюсах, осерді порошкових дротів запропонований метод [6] поступового нагрівання зразків до температури близько 1000 °С в потоці аргону з конвертуванням сполук, що містять водень. Для уникнення помилок при вимірюванні водню через виділення O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO, CO<sub>2</sub> запропонований хроматографічний метод аналізу, який має високу чутливість і роздільну здатність до вищезазначених сполук. Унаслідок постійної швидкості нагріву існує можливість як визначити загальний вміст води при температурі 900...1000 °С, так і визначити характер її зв'язку з досліджуваною речовиною (гігроскопічна, адсорбована на поверхні зерен, кристалогідратна, кристалізаційна, цеолітна, розчинена у формі ОН-груп). Погрішність виміру обсягу водню становить не більше 7 %. Кожен пік термічної десорбції на хроматограмах є піком виділення водню. Вміст водню перераховували на 100 г досліджуваної речовини за допомогою градуального коефіцієнту 0,57 мм<sup>3</sup> H<sub>2</sub>/mBC, отриманого безпосередньо перед проведенням цієї роботи.

**Дослідження впливу технології виплавлення флюсів на вміст в них водню.** Загалом, технологія виготовлення зварювальних плавлених флюсів передбачає розплавлення шихтових матеріалів у флюсоплавильній печі, отримання гомогенного

Головка В.В. – <http://orcid.org/0000-0002-2117-0864>, Пальцевич А.П. – <https://orcid.org/0000-0001-8640-7909>

© І.О. Гончаров, В.В. Головка, А.П. Пальцевич, А.М. Дученко, 2023

розплаву потрібного хімічного складу з наступною його грануляцією. Грануляція забезпечує отримання зерен флюсу потрібного розміру і насипної ваги. Після грануляції флюси прокалюють, розсіювають на відповідних ситах і відправляють користувачу. В залежності від хімічного складу і технічних вимог до флюсів можуть застосовуватися різні типи печей (газополуменеві і електродугові) та способи грануляції (мокра, у воду) та суха (на повітрі) [8]. Ще донедавна Україна займала перше місце в світі за обсягом виготовлення плавлених флюсів. В Україні найбільш масово (понад 80 % від загального обсягу) виготовляють флюси шлакової системи  $MnO-SiO_2-CaF_2$ . Це скловидні флюси загального призначення (АН-348А, ОСЦ-45, АН-348В, АНЦ-1) для зварювання вуглецевих і низьколегованих сталей та пемзоподібні флюси (АН-60, АН348АП, ОСЦ-45П) для швидкісного зварювання конструкцій із сталей того ж типу. Перші зазвичай виготовляють в газополуменевих печах, а останні – в електродугових. В обох випадках флюси гранулюють у воду. Саме флюси цієї шлакової системи було взято в якості об'єктів для досліджень. Мета роботи полягала в дослідженні впливу технологічних факторів на вміст водню на різних етапах виготовлення зварювальних плавлених флюсів. Робота була виконана на промисловому обладнанні в умовах ПрАТ «Запоріжсклофлюс». Це обладнання складається із газополуменевої і електродугової флюсоплавильних печей, встановлених поруч з можливістю їх одночасної роботи. Це дає можливість спрямовувати шлаковий розплав із однієї печі в другу (дуплекс-процес). Грануляцію також можна виконувати як мокрим (у воду), так і сухим (у металеві виливниці) способом.

Газополуменева і електродугова флюсоплавильні печі відрізняються температурами, до яких доводиться шлаковий розплав. У газополуменевої печі температура не перевищує 1400 °С, а в електродуговій може досягати 1700 °С. Тому для визначення впливу температури шлакового розплаву на вміст в ньому водню виготовляли флюс АН-348АП методом дуплекс-процесу. По ходу ведення плавки відбирали проби спочатку на виході із газополуменевої печі, потім на виході з електродугової печі. Температуру шлакового розплаву під час відбору проб визначали оптичним пірометром. Ці проби закалювали на товстостінній металевій поверхні, в результаті чого отримували скловидну будову і зберігали до виконання

аналізу в герметичній тарі, що унеможливило сорбування ними вологи з оточуючої атмосфери. Результати досліджень, наведені в табл. 1, показали, що вміст водню в шлаковому розплаві у газополуменевої печі при температурі розплаву 1400 °С становив 40,6 см<sup>3</sup>/100 г (проба 1), в електродуговій печі при температурі розплаву 1530 °С – 14,8 см<sup>3</sup>/100 г (проба 2).

При подальшому підвищенні температури до 1700 °С вміст водню у розплаві флюсу АН-348АП знизився до 6,9 см<sup>3</sup>/100 г (проба 3). Слід зазначити, що не тільки температура шлакового розплаву визначала кінцевий вміст водню в ньому. Зниження вмісту водню пояснюється також кращими умовами для видалення водню із розплаву в електродуговій печі у порівнянні із газополуменевою завдяки більш інтенсивному перемішуванню розплаву. Крім того, при згоранні газу в атмосфері газополуменевої печі накопичується значна кількість водяних парів (до 15 % за аналогією із сталеплавильними агрегатами). Тому навіть значна витримка в цій печі розплаву та застосування низьководневої сировини не дозволить знизити вміст розчиненого у розплаві водню нижче деякої межі. Навпаки, в електродуговій печі існують умови для додаткового зниження концентрації водню в розплавленому шлаку тому, що існує можливість видалення газів, що виділяються з розплаву під час плавлення, через газовідсмоктувачі. Крім того, інтенсивне вигорання вуглецевої футеровки та графітових електродів приводить до зниження концентрації водню в шлаку, як це має місце в сталеплавильних шлаках.

Таким чином, технологія виплавлення флюсу методом дуплекс-процесу приводить до зниження вмісту водню у шлаковому розплаві приблизно в 6 разів у порівнянні із виплавленням флюсу в газополуменевої печі. Зрозуміло, що при сухій грануляції вміст водню у готовому флюсі залишається на рівні його вмісту у шлаковому розплаві. Невивченим залишився вплив грануляції розплаву у воду на загальний вміст водню у флюсі. Для з'ясування цього питання за звичайною технологією виготовлення флюсів в газополуменевої і електродуговій печах гранулювали розплави під час відбору проб 1 та 3. Після грануляції флюси прокалювали в промислових барабанних сушарках, які забезпечували температуру флюсу на виході із сушильного барабану 250...300 °С, як це визначено технологічною документацією на виготовлення флюсів, розсіювали та пакували. На цьому ета-

Таблиця 1. Вміст водню у флюсах на різних стадіях виготовлення

Флюс	Тип флюсоплавильної печі	Температура шлакового розплаву в печі, °С	Вміст водню в шлаковому розплаві, см <sup>3</sup> /100 г	Вміст водню в готовому флюсі після мокрої грануляції, см <sup>3</sup> /100 г
АН-348А	Газополуменева	1400	40,6 (проба 1)	44 (проба 4)
АН-348АП	Дуплекс-процес	1700	6,9 (проба 3)	62 (проба 5)

пі досліджували вміст водню в пробах, взятих із мішків в стані поставки.

Встановлено, що температура розплаву перед початком грануляції суттєво впливає на кінцевий вміст водню у флюсі. Так, при температурі шлакового розплаву 1400 °С утворюються зерна зі скловидною структурою. При цьому вміст водню після мокрої грануляції збільшується приблизно на 10 % (з 40,6 до 44 см<sup>3</sup>/100 г (кінцевий вміст водню у флюсі АН-348А (проба 4)). При контакті з водою шлакового розплаву, нагрітого до температури 1700 °С, навколо часток розплаву утворюється парова оболонка з високим тиском водяного пару. Зважаючи на низьку в'язкість шлакового розплаву при таких температурах в частках флюсу формуються порожнини, що займають до 80 % загального об'єму флюсу. Ці порожнини заповнюються парами води, яка конденсується при охолодженні. Загалом, це приводить до збільшення вмісту водню у флюсі приблизно в 9 разів (з 6,9 до 62 см<sup>3</sup>/100 г (кінцевий вміст водню у флюсі АН-348АП (проба 5)).

Дослідження термічної десорбції водню показали, що основна частина вологи із флюсу АН-348АП видаляється при нагріві до 600 °С (на відміну від флюсу АН-348А, з якого водень видаляється при температурах, наближених до температури плавлення флюсу, і, зрозуміло, потрапляє в зварювальну ванну). На підтвердження цього на рис. 1 наведено хроматограми термічної десорбції водню з флюсу АН-348А – газополуменева піч + гранулятор – проба 4) та флюсу АН-348АП – дуплекс-процес + гранулятор – проба 5).

Для зниження вмісту водню у плавленому флюсі можна рекомендувати використання електродугової печі або дуплекс-процесу при плавленні флюсу, які дозволяють доводити розплав до температури 1700 °С, і використовувати флю-

си сухої грануляції. Але для флюсів досліджуваної шлакової системи MnO–SiO<sub>2</sub>–CaF<sub>2</sub> використання дуплекс-процесу є більш доцільним. Крім обмеження вмісту водню, дуплекс-процес дозволяє суттєво знизити вміст у флюсах сірки і фосфору і при цьому одночасно попередити небажані підвищені втрати основних компонентів флюсів цієї шлакової системи. Як результат знижується залежність від дефіцитної, дороговартісної високоякісної сировини, досягається можливість застосування у виробництві флюсів відходів металургійного, зварювального і гірничозбагачувального виробництва, підвищується їх конкурентноздатність [9, 10]. З метою зниження вмісту водню у флюсі, виготовленому методом дуплекс-процесу було запропоновано доводити розплав до температури 1700 °С, витримувати його при цій температурі, потім знижувати температуру розплаву до 1400 °С і лише тоді гранулювати його у воду. Для перевірки цих рекомендацій досліджували вміст і характер термічної десорбції водню із скловидного флюсу ОСЦ-45 (газополуменева піч) та скловидного флюсу ОСЦ-45М (дуплекс-процес). Флюс ОСЦ-45М було виготовлено шляхом нагріву розплаву до 1700 °С, витримки розплаву при цій температурі протягом 20 хв, охолодження розплаву до 1400 °С і гранулювання його у воду. Порівнюючи флюси, виготовлені методом дуплекс-процесу (ОСЦ-45М і АН-348АП), слід зазначити, що загальний вміст водню у флюсі ОСЦ-45М в 2 рази нижче, ніж у флюса АН-348АП (30,0 й 62 см<sup>3</sup>/100 г відповідно). Це можна пояснити тим, що розплав флюсу ОСЦ-45М перед грануляцією охолоджується до температури 1400 °С. У результаті утворюється флюс із скловидною будовою зерен. Порівнюючи флюси ОСЦ-45 і ОСЦ-45М, що відрізняються способом виготовлення, варто відмітити, що обидва флюси мають однакову

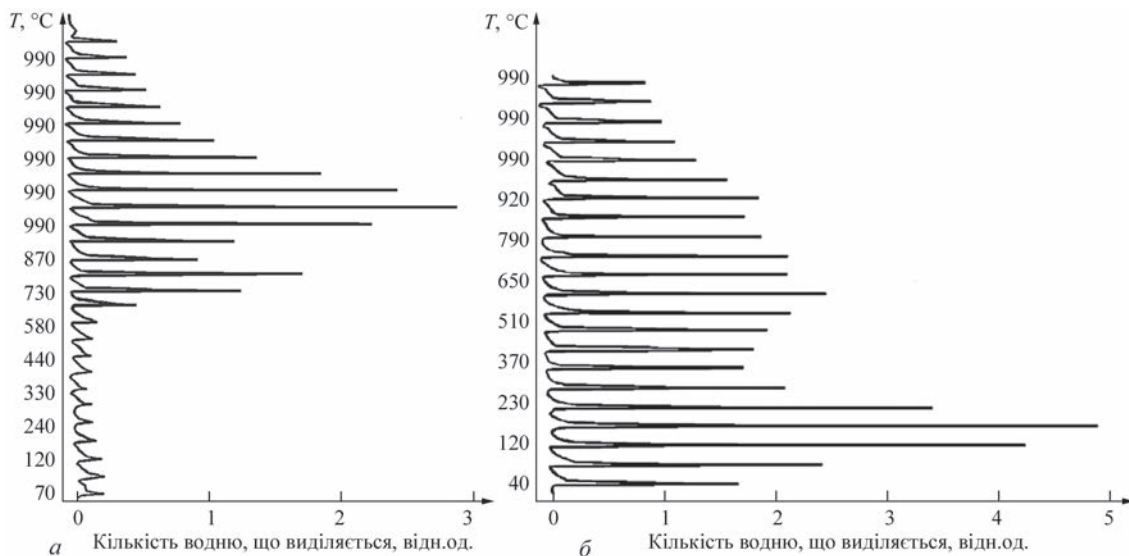


Рис. 1. Хроматограми термічної десорбції водню з флюсів: а – флюс АН-348А (проба 4)  $H = 44 \text{ см}^3/100 \text{ г}$  (газополуменева піч); б – флюс і АН-348АП (проба 5)  $H = 62 \text{ см}^3/100 \text{ г}$  (дуплекс-процес)

Таблиця 2. Загальний вміст і характер термічної десорбції водню в зварювальних флюсах

Флюс	Спосіб виготовлення		Будова зерен	Загальний вміст (H) <sub>д</sub> , см <sup>3</sup> /100 г	Кількість водню, що видалилася при нагріві в діапазоні температур, см <sup>3</sup> /100 г/%				
	тип печі	спосіб грануляції			0...20 °С	200...600 °С	600...800 °С	990 °С	Вище 990 °С
АН-348А	Газополу-менева	мокрый	Скловидна	44	2,6/6	4,0/9	5,3/12	3,5/8	28,6/65
ОСЦ-45	->-	->-	->-	36	1,8/5	4,0/11	5,0/14	9,7/27	15,5/43
ОСЦ-45М	Дуплекс-процес	->-	->-	30	4,5/15	6,9/23	5,4/18	4,5/15	8,7/29
АН-348АП	->-	->-	Пемзоподібна	62	24,2/39	14,2/23	6,9/11	7,4/12	9,3/15

скловидну будову зерен. Загальний вміст водню у флюсі ОСЦ-45М (30 см<sup>3</sup>/100 г) у порівнянні із виготовленим в газополуменевій печі флюсом ОСЦ-45 (36 см<sup>3</sup>/100 г) нижчий несуттєво. Встановлено, що ці флюси значно відрізняються за характером десорбції водню в процесі нагріву (див. рис. 2). З табл. 2 та хроматограм флюсів, виготовлених в газополуменевій печі (АН-348А, ОСЦ-45) видно, що основна кількість водню видалається при температурах, близьких до температури плавлення флюсу (990 °С). Флюси, виготовлені методом дуплекс-процесу (ОСЦ-45М і АН-348АП) характеризуються тим, що десорбція водню з них відбувається при менших температурах (в основному до 800 °С). Навіть для пемзоподібного флюсу АН-348АП, що має високий загальний вміст водню (62 см<sup>3</sup>/100 г) під час витримки при 990 °С виділяється всього 9,3 см<sup>3</sup>/100 г. Для склоподібного флюсу ОСЦ-45М ця величина становить 8,7 см<sup>3</sup>/100 г флюсу.

На наступному етапі досліджень визначали вплив загального вмісту водню у флюсах та характеру його термічної десорбції на вміст дифузійного водню в наплавленому металі при зварюванні. Вміст дифузійного водню в металі зварних швів визначали методом хроматографічного аналізу за ГОСТ 23338-91 із застосуванням газоаналізатора

ОБ 2178, розробленого в Інститут електро зварювання ім. Е.О. Патона. Об'єктивність результатів вимірювання обсягу дифузійного водню обумовлена тим, що водень, який виділився зі зразка у герметичній металевій камері, вимірюється методом газової хроматографії. Надійність результатів вимірювання вмісту дифузійного водню підтверджена численними порівняльними випробуваннями його із ртутним методом аналізу по стандарті ISO 3690 [11].

Зразки для аналізу вмісту дифузійного водню в наплавленому металі одержували методом наплавлення валика на складаний зразок зі сталі 10Г2ФБ. Перед зварюванням зразки витримували при температурі 800 °С впродовж 1 год. Зварювальний дріт марки Св-10Г1НМА діаметром 4 мм зачищали від обмідненого покриття й знежирували. Наплавлення вели на постійному струмі зворотної полярності на режимі:  $I_{зв} = 550...600$  А,  $U_{д} = 32...34$  В,  $V_{зв} = 36$  м/год. Параметри режиму зварювання визначали з умов забезпечення необхідної за ГОСТ 23338-91 погонної енергії (не більше 3 кДж/мм), одержання швів з геометричними розмірами, що дозволяють легко відокремити зразок від вивідних планок (шириною до 22 мм і висотою до 6 мм). Наплавлений зразок охолоджували водою з температурою 0 °С впродовж 3 с

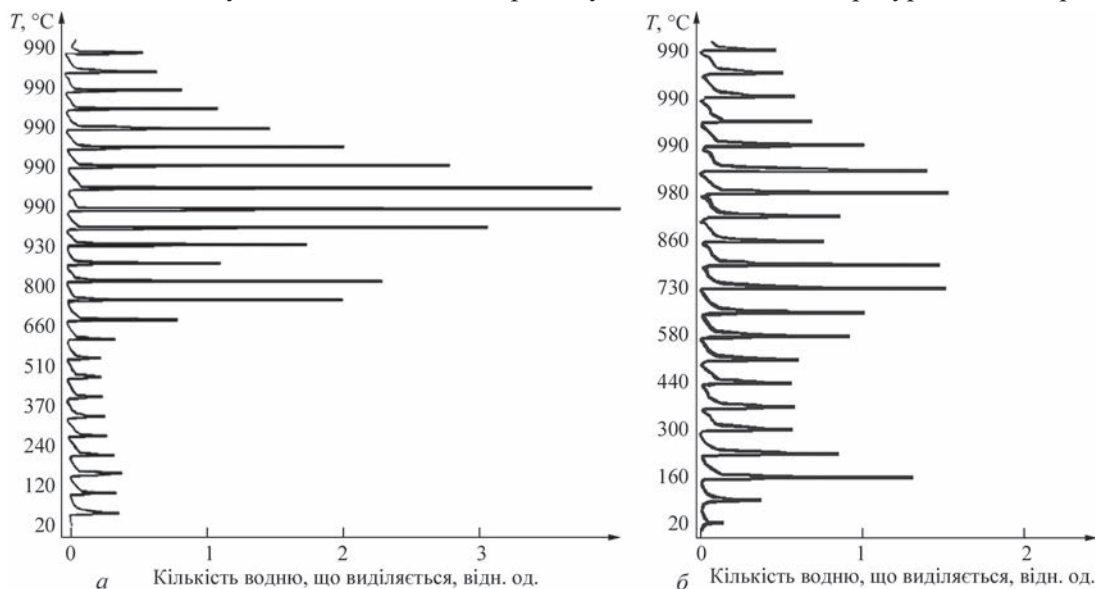


Рис. 2. Хроматограми термічної десорбції водню: а – флюс ОСЦ-45 (газополуменева піч)  $H = 36$  см<sup>3</sup>/100 г; б – флюс ОСЦ-45М (дуплекс-процес)  $H = 30$  см<sup>3</sup>/100 г

Таблиця 3. Вміст водню у флюсах і наплавленому металі

Марка флюсу	Вміст водню у флюсі, см <sup>3</sup> /100 г флюсу	Вміст водню в металі, см <sup>3</sup> /100 г	
		[H] <sub>диф</sub> , напл. метал	[H] <sub>ост</sub> , шов
АН-348А	44	6,8; 7,4; 7,7/ 7,3	2,2; 2,4; 2,6/ 2,4
АН-348АП	62	4,7; 5,2; 5,4/ 5,1	1,6; 1,6; 1,7/ 1,6

і занурювали в рідкий азот. При досягненні температури 196 °С вивідні планки видаляли, а зразок зберігали до проведення аналізу в рідкому азоті. На кожну пробу флюсу виготовляли три зразки. Всі флюси безпосередньо перед зварюванням прокалювали при температурі 300 °С впродовж 1 год. Вміст дифузійного водню обчислювали за ISO 3690.

З табл. 3 видно, що вміст дифузійного водню в наплавленому металі при застосуванні технології дуплекс-процесу при виготовленні флюсу нижче приблизно на 30 % порівняно із традиційною технологією плавки флюсів в газополуменевій печі. При цьому із результатів досліджень характеру термічної десорбції водню, наведених на рис. 1 і в табл. 2, 3, видно, що вміст дифузійного водню в наплавленому металі визначається не загальним вмістом водню у флюсі, а кількістю водню, що видаляється із флюсу при температурах, близьких до температури їх плавлення. Зрозуміло, що цей водень неможливо видалити із флюсів рекомендованим ГОСТ 9087-81 прокалюванням флюсів при температурі 300...400 °С впродовж 1 години, яке необхідно виконувати безпосередньо перед зварюванням. З роботи [12] відомо, що такий водень є розчиненим у формі ОН-груп під час плавлення в печі. Тобто, кількість розчиненого водню визначається способом виготовлення флюсу.

Зважаючи на отримані позитивні результати стосовно зниження вмісту водню в зварювальних плавлених флюсах, виготовлених за технологією дуплекс-процесу, перспективним є використання плавлених напівпродуктів в шихті агломерованих зварювальних флюсів.

## Висновки

1. Встановлено, що технологія виплавлення флюсу методом дуплекс-процесу приводить до зниження загального вмісту водню у шлаковому розплаві майже в 6 разів у порівнянні із виплавленням флюсу в газополуменевій печі.

2. При зливі шлакового розплаву у воду під час грануляції вмісту водню у флюсі збільшується нерівномірно в залежності від початкової температури розплаву: на 10 % при температурі розплаву 1400 °С та приблизно в 9 разів при температурі розплаву 1700 °С.

3. Установлено, що в залежності від температури шлакового розплаву перед грануляцією у воду змінюється характер термічної десорбції водню. Основна кількість водню із скловидних флюсів, що гранулюються при температурі розплаву

1400 °С, видаляється при температурах, близьких до температури їх плавлення (понад 990 °С). Для пемзоподібних флюсів, які гранулюються при температурі розплаву 1700 °С, основна частина водню видаляється при температурах до 800 °С.

4. Розроблено рекомендації по створенню технології виготовлення низьководневих плавлених флюсів. Для зниження вмісту водню у плавленому флюсі рекомендовано використання дуплекс-процесу при плавленні флюсу, що дозволяє доводити розплав до температури 1700 °С і використовувати флюси сухої грануляції. В разі мокрої грануляції потрібно доводити розплав до температури 1700 °С, витримувати його при цій температурі, потім знижувати температуру розплаву до 1400 °С і лише тоді гранулювати його у воду.

5. Встановлено, що вміст дифузійного водню в наплавленому металі при застосуванні зварювальних плавлених флюсів, виготовлених методом дуплекс-процесу, нижче приблизно на 30 % у порівнянні із варіантом використання флюсів, виготовлених в газополуменевій печі.

6. З метою подальшого зниження вмісту водню в металі зварних швів перспективним напрямком є проведення досліджень з використання плавлених напівпродуктів в складі шихти при виробництві агломерованих флюсів.

## Список літератури

- Milos B. Djukic, Gordana M. Bakic, Vera Sijacki Zeravcic et al. (2016) Hydrogen Embrittlement of Industrial Components: Prediction, Prevention, and Models. *Corrosion*, 72 (7), 943–961.
- Vigdis Olden, Antonio Alvaro, Odd M. Akselsen (2012) Hydrogen diffusion and hydrogen influenced critical stress intensity in an API X70 pipeline steel welded joint – Experiments and FE simulations. *International J. of Hydrogen Energy*, 37(15), 11474–11486.
- Позняков В.Д. (2023) *Зварювальні технології для ремонту металевих конструкцій*. Київ, Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України.
- Tianli Zhang, Zhuoxin Li, Frank Young et al. (2014) Global Progress on Welding Consumables for HSLA Steel. *ISIJ International*, 8, 1472–1484.
- Позняков В.Д. (2017) Технології зварювання для виготовлення і ремонту металевих конструкцій із високоміцних сталей. *Вісник Національної академії наук України*, 1, 64–72.
- Походня І.К., Явдошин І.Р., Пальцевич А.П. та ін. (2004) *Металургія дугового зварювання. Взаємодія металу з газами*. Київ, Наукова думка.
- Гончаров І.А., Пальцевич А.П., Токарев В.С. (2001) Влияние водорода в низколегированном металле шва на порообразование при сварке под флюсом. *Автомат. сварка*, 7, 21–23.
- Подгаецкий В.В., Люборец И.И. (1984) *Сварочные флюсы*. Киев, Техника.
- Жданов Л.А., Дученко А.Н., Гончаров И.А. и др. (2012) Термодинамический анализ шлаковых расплавов при

изготовлении сварочных плавяных флюсов. *Автомат. сварка*, **11**, 25–30.

10. Залевський А.В., Галинич В.І., Осипов М.Я., Нетяга В.І., Олійник М.М. (2001) *Спосіб виготовлення зварювальних плавяних флюсів*. Пат. 40008. Бюл. № 6.16.07.2001.
11. Волков В.В., Касаткин Б.С., Михайлов В.Е. (1985) Сопоставление методов определения содержания водорода в сварных швах. *Автомат. сварка*, **6**, 36–38.
12. Гончаров И.А., Пальцевич А.П., Токарев В.С. и др. (2001) О форме существования водорода в сварочных плавяных флюсах. *Автомат. сварка*, **4**, 28–32.
4. Tianli Zhang, Zhuoxin Li, Frank Young et al. (2014) Global progress on welding consumables for HSLA steel. *ISIJ Intern.*, **8**, 1472–1484.
5. Poznyakov, V.D. (2017) Welding technologies for manufacturing and repair of metal structures from high-strength steels. *Visnyk NANU*, **1**, 64–72 [in Ukrainian].
6. Pokhodnya, I.K., Yavdoshchyn, I.R., Paltsevych, A.P. et al. (2004) *Metallurgy of arc welding. Interaction of metal with gases*. Kyiv, Naukova Dumka [in Ukrainian].
7. Goncharov, I.A., Paltsevich, A.P., Tokarev, V.S. (2001) Effect of hydrogen in low-alloyed weld metal on pore formation in submerged arc welding. *The Paton Welding J.*, **7**, 20–23.
8. Podgaetsky, V.V., Lyuborets, I.I. (1984) *Welding fluxes*. Kyiv, Tekhnika [in Russian].
9. Zhdanov, L.A., Duchenko, A.N., Goncharov, I.A. et al. (2012) Thermodynamic analysis of slag melts in manufacture of fused welding fluxes. *The Paton Welding J.*, **11**, 23–27.
10. Zalevsky, A.V., Galynych, V.I., Osypov, M.Ya. et al. (2001) *Method of manufacture of fused welding fluxes*. Pat. Ukraine, Publ. 16.07.2001 [in Ukrainian].
11. Volkov, V.V., Kasatkin, B.S., Mikhajlov, V.E. (1985) Comparison of methods for determination of hydrogen content in welds. *Avtomatich. Svarka*, **6**, 36–38.
12. Goncharov, I.A., Paltsevich, A.P., Tokarev, V.S. et al. (2001) About the form of hydrogen existence in welding fused fluxes. *The Paton Welding J.*, **4**, 27–30.

## References

## TECHNOLOGIES FOR PRODUCING LOW-HYDROGEN FUSED FLUXES

I.O. Goncharov, V.V. Holovko, A.P. Paltsevych, A.M. Duchenko

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

E-mail: goncharovia@ukr.net

The influence of the technology of producing welding fluxes on the content of hydrogen in them and nature of its thermal desorption was investigated. From the fluxes produced by the method of duplex process (sequentially operating gas flame and electric arc furnace), hydrogen is mainly removed at temperatures to 600 °C. It was established that the content of diffusion hydrogen in the deposited metal in welding under the fused fluxes, produced by the method of duplex process, is approximately by 30 % lower compared to fluxes produced in gas-flame furnaces. The use of fused semi-products in the composition of a charge while producing agglomerated fluxes was proposed. 12 Ref., 3 Tabl., 2 Fig.

*Keywords: hydrogen, automatic arc welding under the fused fluxes*

Надійшла до редакції 19.06.2023



**VII INTERNATIONAL  
CONFERENCE ON WELDING  
AND RELATED TECHNOLOGIES**

7-10 October 2024 Kyiv, Ukraine

[www.wrt2024.com.ua](http://www.wrt2024.com.ua)