

РОЗРОБКА ПОРОШКОВИХ ДРОТІВ НОВОГО ПОКОЛІННЯ ДЛЯ ЕЛЕКТРОДУГОВОГО ЗВАРЮВАННЯ В СЕРЕДОВИЩІ ЗАХИСНОГО ГАЗУ З'ЄДНАНЬ НИЗЬКОЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ З МЕЖЕЮ МІЦНОСТІ 640...940 МПа

В.М. Шлепаков, О.С. Котельчук

ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Розглянуто результати досліджень властивостей порошкових дротів з металевим осердям, на основі яких запропоновано підходи до розробки складів порошкових дротів для електродугового зварювання в середовищі захисного газу з'єднань низьколегованих сталей підвищеної й високої міцності. На основі застосування динамічного термічного аналізу порошкових сумішей, що моделюють осердя дротів, одержано інформацію про кінетику процесів, які набувають розвитку при нагріванні й плавленні композицій порошкових дротів, що дозволяє оптимізувати склади осердя. Вироблені рекомендації з вибору й застосуванню порошкових дротів для зварювання низьколегованих високоміцних сталей. Бібліогр. 10, табл. 2, рис. 3.

Ключові слова: електродугове зварювання, порошковий дріт, низьколегована високоміцна сталь

Стійка тенденція зростання обсягів застосування низьколегованих сталей високої міцності для виготовлення зварних металоконструкцій інженерних споруд (наприклад, таких як магістральні системи транспортування газоподібних і рідких продуктів) та інших об'єктів, особливо таких, що експлуатуються у складних кліматичних умовах, стала стимулом для розширення досліджень і розробок в сфері створення нових електродних матеріалів для електродугового зварювання [1, 2]. Дослідження й розробки електродних матеріалів для зварювання сталей високої міцності з самого початку були спрямовані на управління мікроструктурою в частині оптимізації комбінації часток бейнітної, феритної та мартенситної складових. Досягнення заданого рівня показників властивостей суттєво утруднюється сильною залежністю динаміки формування мікроструктурних складових від параметрів режиму зварювання [3, 4]. Важливим кроком у розвитку уявлень про шляхи регулювання в'язко-пластичних властивостей металу зварних швів з'єднань високоміцних сталей стали роботи, присвячені ролі складу неметалевих включень, їх морфології й розподілу по границях зерен у формуванні мікроструктури й властивостей металу шва [5–9]. В основу розробки порошкового дроту для дугового зварювання з'єднань низьколегованих сталей високої міцності в середовищі захисного газу прийняті результати досліджень і розробок порошкових дротів з металевим осердям [7], типові зразки яких забезпечують досягнення оптимальних зварювально-технологічних властивостей. Численні дослідження

з вибору й оптимізації системи легування металу шва для зварювання високоміцних низьколегованих (ВМНЛ) сталей різного рівня міцності стали основою для узагальнення рекомендованих складів електродних матеріалів по системі легування у формі міжнародного стандарту [10].

Використання процесу дугового зварювання порошковим дротом у середовищі газових сумішей на основі аргону й вуглекислого газу як базової технології дозволяє забезпечити стійкість процесу переносу металу оболонки дроту й матеріалів порошкового осердя, що плавляться, у зварювальну ванну в межах використання діапазонів параметрів режиму, який характеризується струминним або струминно-краплинним перенесенням і який мінімілізує втрати електродного металу. При цьому процес плавлення електродного порошкового дроту й протікання реакцій взаємодії розплавленого металу з газовим захисним середовищем може регулюватися по окисній здатності в досить широких межах без погіршення зварювально-технологічних властивостей.

Мета цієї роботи – аналіз досліджень та вироблення рекомендацій по створенню порошкових дротів для електродугового зварювання в середовищі захисного газу з'єднань низьколегованих сталей підвищеної та високої міцності.

Основні результати досліджень і їх обговорення. Досвід застосування дротів типу «metal-coге», порошкове осердя яких включає комплексну порошкову суміш мінеральних легкоплавких компонентів для металургійної обробки й рафінування металу зварювальної ванни, ліг в осно-

ву досліджень і розробки порошкових дротів для зварювання високоміцних сталей. У якості матеріалів, що флюсують, були використані легкоплавкі солі лужно-земельних металів (фтор-силікати, карбонати, алюмінати, фториди та ін.) з низькою гігроскопічністю, шлакові розплави яких асимілюють включення, що формуються у вигляді гострокутних часточок, плівкових виділень, шпінелей, які суттєво послаблюють міцність по границях зерен. Обробка розплавів сумішшю, що флюсує, розрахована на регулювання складу неметалевих включень та форм їх виділення по границях зерен, а також на зниження вмісту водню в металі шва за рахунок протікання реакцій його зв'язування фторидами. Склад шлакової системи, яка рафінує, оптимізується стосовно до характеристик порошкової суміші осердя дротів. При виготовленні порошкового дроту для зварювання сталей певного рівня міцності рекомендується проводити спеціальний контроль відповідності суміші вимогам з урахуванням можливої зміни складу сировинних матеріалів.

Побудова суміші, що рафінує, базується на використанні композиції сполук елементів з ІА (Mg, Ca, Ba), ІІА (Al) і ІVА (Si) груп Періодичної системи елементів. Метало-порошкова суміш входить до складу сольової композиції, що утворює легкоплавкі шлаки для рафінування, які спроможні вилучати неметалеві включення із металу зварювальної ванни до її кристалізації.

Вміст кисню в металі шва до деякої міри відбиває загальна кількість неметалевих включень оксидного типу, які впливають на холодостійкість металу шва. Оптимальним вважають вміст кисню в металі шва в межах 0,25...0,35 мас. %. Так, при зварюванні порошковим дротом рутилового типу в суміші Ag + CO₂ вміст кисню знижується до 0,022...0,025 мас. %, при цьому робота удару при -60 °С становить 50 Дж, у порівнянні зі зварюванням цим же дротом у середовищі CO₂, коли вміст кисню може досягати 0,05...0,06 мас. %, а показники роботи удару знижуються і при -40 °С становлять близько 27 Дж.

Проектування композицій сумішей, що рафінують, проводили, ґрунтуючись на результатах динамічного термічного аналізу дослідних порошкових сумішей, склад яких підібрано з урахуванням базових принципів легування металу швів при зварюванні сталей високої міцності відповідно категоріям міцності. Комплексний термогравіметричний аналіз у комбінації з диференційною скануючою калориметрією дозволив визначити інтервали температур формування металевих і шлакових розплавів, кількісно оцінити ступінь розвитку термохімічних реакцій взаємодії досліджуваних композицій з газовим середовищем у процесі динамічного на-

грівання (зокрема, термічну деструкцію й випаровування компонентів, а також окиснення металевих складових). На рис. 1, а наведено результати термогравіметричного аналізу модельного осердя порошкового дроту оксидно-фторидного типу, що містить лігатури на основі Al (зокрема, лігатури Al·Li та Al·Mg), а на рис. 1, б – результати аналізу цього ж зразка осердя порошкового дроту методом диференційної скануючої калориметрії разом з підрахунком сумарних теплових ефектів реакцій. Процес нагрівання шихт порошкових дротів оксидно-фторидного типу характеризується екзотермічними ефектами при температурах порядку 600 і 800 °С великої інтенсивності, які супроводжуються збільшенням маси зразка та зниженням вмісту кисню в газовій фазі нагрівальної камери, що свідчить про інтенсифікацію процесів окислення порошків лігатур Al та Mg, залізного порошку і феросплавів відповідно. Шлаковий розплав утворюється в інтервалі температур 1190...1220 °С, що відзначається відповідним ендотермічним ефектом, який досягає максимуму при температурі близько 1200 °С.

Утворення розплавів ще на стадії нагрівання порошкового осердя на вильоті електродного дроту, до плавлення оболонки дроту й виділення газоподібних продуктів (CO, CO₂, SiF₄ та ін.) визначає захисні функції порошкового дроту й суттєво впливає на хід реакцій взаємодії металу з газами на стадіях краплі й ванни. Температурні інтервали термохі-

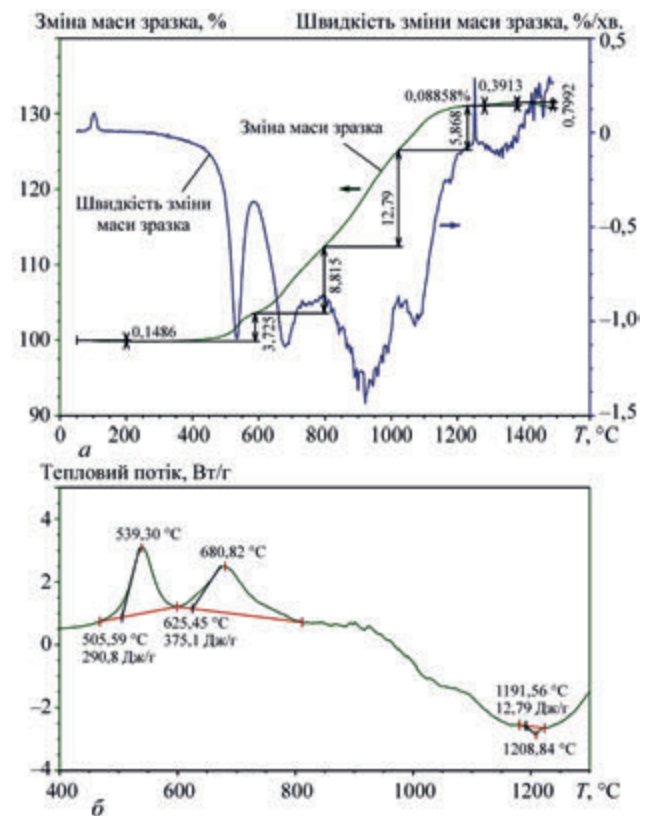


Рис. 1. Результати термогравіметричного аналізу (а) та аналізу методом диференційної скануючої калориметрії (б) модельного осердя порошкового дроту оксидно-фторидного типу

мічних реакцій (наприклад, ендотермічні процеси видалення вологи, деструкції, плавлення та екзотермічні – окислення, утворення комплексних сполук), які супроводжують процес нагрівання, перебиваються, а їх теплові ефекти накладаються один на одного, стимулюючи розвиток одних процесів і гальмуючи інші. Таким чином, управління цими термохімічними реакціями за рахунок коригування складу осердя дозволяє регулювати швидкість його плавлення, досягаючи сприятливих характеристик плавлення порошкового дроту в цілому, а також перенесення електродного металу у зварювальну ванну. Специфічні дані стосовно величини теплового потоку при нагріванні порошкових композитів дозволяють оцінювати витрати тепла на їх нагрівання й плавлення з урахуванням взаємного впливу екзотермічних реакцій, що набувають розвитку в осерді порошкового дроту.

Низьколеговані зварювальні матеріали, розроблені для зварювання високоміцних сталей, повинні задовольняти підвищеним вимогам стосовно свого складу для забезпечення низького вмісту водню в металі шва. Висока концентрація дифузійно-рухливого водню у зварному з'єднанні може призводити до утворення холодних тріщин, тому при зварюванні високоміцних сталей необхідно мінімізувати кількість водню, що потрапляє у зварювальну ванну. Це досягається за рахунок початково низького вмісту водню в присадковому матеріалі та захисному газі, а також за рахунок забезпечення умов зварювання, при яких виключається надходження вологи та інших сполук водню в зону зварювання з навколишнього середовища.

При зварюванні сталей з межею плинності до 520 МПа допустимий рівень вмісту водню в металі шва обмежують 5 см³/100 г наплавленого металу, а при зварюванні сталей з межею плинності 620 МПа й вище – до 3 см³/100 г наплавленого металу.

Для виготовлення порошкових дротів, призначених для зварювання високоміцних сталей потрібно не тільки використовувати вихідні сировинні матеріали з низьким вмістом водню, але й необхідно забезпечити постійний контроль зволоження всіх сировинних матеріалів і готової шихти при їх зберіганні та у процесі виготовлення дроту, а також забезпечити такі умови зберігання й використання цих матеріалів, що гарантують відсутність їх зволоження. Це досягається використанням термостатованих контейнерів на всіх етапах виготовлення порошкового дроту. Очищення сталевих стрічки повинне гарантувати відсутність вологи й залишків консерваційного змащення на поверхні стрічки безпосередньо перед подаванням її на формування оболонки дроту та заповнення шихтою.

Поставка споживачеві порошкового дроту для зварювання високоміцних сталей здійснюється в

герметичному пакуванні з алюмінієвої фольги, загерметизованому під низьким вакуумом. Строки використання порошкового дроту, вилученого з герметичного пакування, обмежується документацією на виконання зварних з'єднань сталей підвищеної й високої міцності.

Контроль вмісту дифузійного водню в сировинних матеріалах, які використовуються в якості компонентів осердя порошкових дротів і шихтах осердя порошкових дротів дозволяє виокремити компоненти й композиції, використання яких без спеціальної обробки в осерді порошкових дротів для зварювання високоміцних сталей необхідно обмежувати. Корисним для досягнення цієї мети є термічний аналіз таких матеріалів, сполучений з мас-спектрометрією газової фази. Враховуючи можливе окиснення металевих порошоків при нагріванні до високих температур (700...1000 °С), термічний аналіз проводять у потоці інертного газу (як правило, аргону) для оцінки внутрішнього окиснення без впливу атмосфери повітря.

Порошкові металеві матеріали (Fe·Mn, Mo, Fe·Si, Al, Al·Mg, Al·Ca) при нагріванні втрачають адсорбовану вологу в діапазоні температур 110...240 °С. При подальшому нагріванні видаляється структурно зв'язана волога. Цей процес супроводжується розвитком процесів внутрішнього окиснення. Результати термічного аналізу дозволяють визначити оптимальні умови, при яких внутрішнє окиснення не виявляє істотного впливу на видалення водню і його сполук. Термообробку більшості матеріалів доцільно проводити в діапазоні температур 200...400 °С залежно від типу дроту, що виготовляється. Більш повне видалення водню і його сполук можливо досягти термообробкою окремих порошоків у захисному середовищі або вакуумі. Проте навіть термообробка порошкових сумішей у звичайних умовах дозволяє на 85 % знизити вміст потенційного водню в осерді порошкового дроту.

Вплив очищення стрічки й обробки поверхні порошкового дроту на зниження вмісту дифузійного водню в металі шва було експериментально перевірене на дослідних зразках порошкових дротів карбонатно-флюоритного типу й типу «metal-core» із з'явним складом легуючої частини осердя. Для виготовлення таких дослідних порошкових дротів використовувалася холоднокатана сталевий стрічка типу 08Ю розмірами 0,8×12 мм, яка очищувалась від залишків консерваційного мастила, що є одним з найбільших джерел дифузійного водню в порошкових дротах, двома способами: механічним та промиванням розчином, що знежирює. Результати аналізу вмісту дифузійного водню в стрічках очищених першим і другим способами виявилися близькими й склали близько 1,2 см³/100 г металу.

Для запобігання підвищення вмісту водню в порошковому дроті корисним виявилось нанесення покриття, що інгібує, на поверхню дроту після її очищення. Пакування дроту у великовантажні контейнери типу «Marathon» небажано через труднощі забезпечення необхідної герметичності й необхідність якнайшвидшого використання дроту після розкриття пакування.

Розробка композицій осердя порошкового дроту для зварювання сталей різних класів міцності. Дослідження й розробку порошкових дротів для зварювання низьколегованих високоміцних сталей у середовищі захисного газу проводили з урахуванням досвіду виробництва сталей відповідного класу міцності. У процесі виробництва таких сталей при їх виплавці застосовуються операції рафінування та позапічної обробки на стадії розливання, а також термічної обробки (загартування, відпущення) при прокатці, у результаті яких сталевий прокат (сталь) набуває однорідної мікроструктури переважно бейнітно-мартенситного класу.

Регулювання показників фізико-механічних властивостей сталей й електродних матеріалів для їх зварювання досягається за рахунок мікролегування карбідо- і нітридоутворюючими елементами (ванадієм, ніобієм, цирконієм, титаном) при зниженні вмісту вуглецю та базовому легуванні марганцем, кремнієм, нікелем, молібденом, хромом.

Аналіз відомих систем мікролегування ванадієм, титаном, ніобієм і цирконієм дозволив вибрати найбільш придатну відповідно завданням зварювання низьколегованих високоміцних сталей систему мікролегування через осердя порошкового дроту й визначити оптимальні межі такого мікролегування. Оптимум досягається (рис. 2 і

3) для мікролегування V – до 0,08; Ti – до 0,05; Nb – до 0,02; Zr – до 0,09 мас. %. Зниження пластичності (величини A_5 і KV) обумовлено окрихченням границь зерен. V, Ti і Nb здатні утворювати карбонітриди плівкового типу.

Проведена оптимізація складу комплексного мікролегування металу шва через осердя порошкового дроту з урахуванням адсорбційної активності карбо- та нітридоутворюючих та лужно-земельних елементів, а також експериментально оцінено вплив мікролегування на структурно-чутливі механічні властивості зварного з'єднання.

Основні вимоги до властивостей металу швів і зварних з'єднань високоміцних сталей, виконаних електродуговим зварюванням плавленням у середовищі захисних газів, обумовлені міжнародним стандартом EN ISO 18276 «Дроти порошкові для зварювання високоміцних сталей у захисних газах» [10]. Стосовно хімічного складу визначені межі легування металу шва по вмісту Mn, Ni, Cr та Mo відповідно до рівня показників міцності, а по вмісту домішок: по вуглецю – 0,03...0,1 мас. %, сірки – не більш 0,020 мас. % та фосфору – не більш 0,020 мас. %, по елементам легування – у відповідності з заданим рівнем міцності. Рекомендоване обмеження вмісту водню в наплавленому металі – не більш 5 $cm^3/100$ г наплавленого металу.

Композиції порошкових дротів для зварювання в середовищі захисного газу розроблялися з урахуванням основних вимог стандарту відповідно категорії порошкового дроту по показникам міцності.

В табл. 1 і 2 наведені показники властивостей порошкових дротів для дугового зварювання ВМНЛ сталей в захисних газах (82% Ar+18% CO₂).

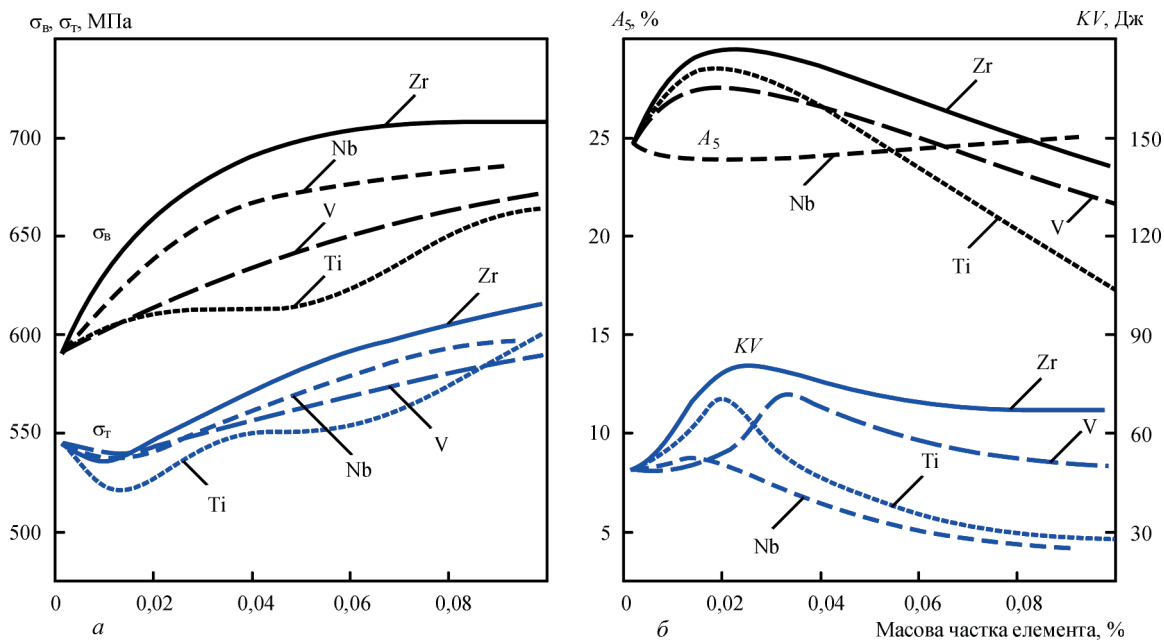


Рис. 2. Механічні властивості металу зварних швів при мікролегуванні V, Ti, Nb і Zr: межа плинності σ_T і тимчасовий опір розриву σ_B (а) та відносне подовження A_5 й робота удару KV при температурі випробування -40 °С (б)

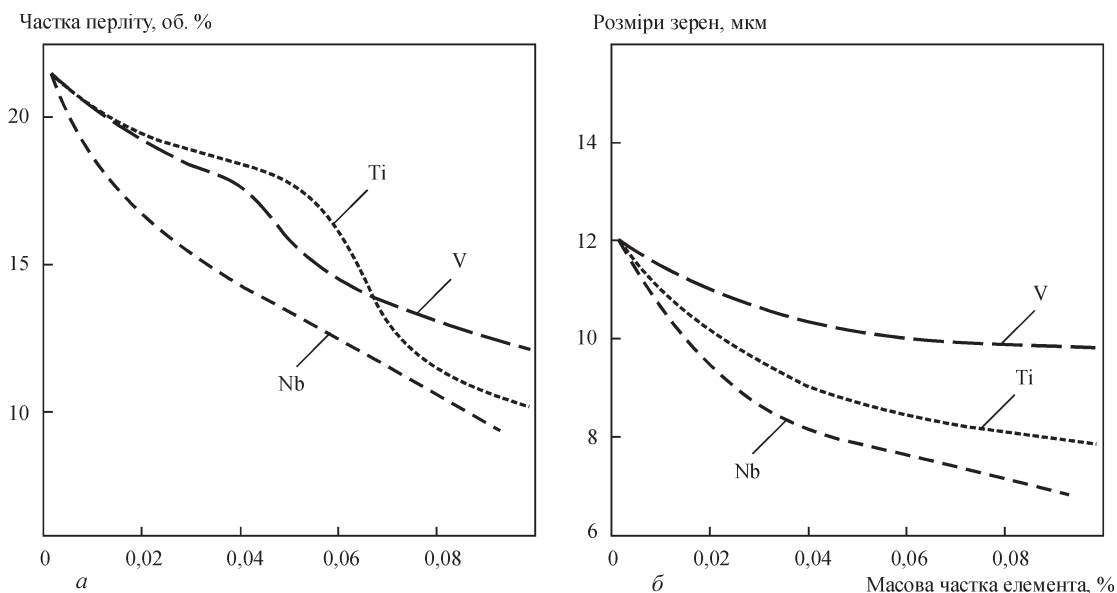


Рис. 3. Вплив мікролегування V, Ti і Nb на мікроструктуру металу: частку перлітної складової мікроструктури в структурі металу (а) і розміри зерен (б)

Таблиця 1. Механічні властивості металу зварного шва ВМНЛ сталей різних класів міцності

Класифікація порошкового дроту за стандартом EN ISO 18276	Мінімальне значення межі плинності сталі, що зварюється, МПа	Показники властивостей металу шва и зварного з'єднання			
		Межа плинності, МПа	Тимчасовий опір розриву, МПа	Подовження A_5 , %	Робота удару ISO – V (Дж) при температурі випробування
EN ISO 18276-A: T 55 5 Z M M 1 H5	550	> 550	640...820	> 22	> 47; –50 °C
EN ISO 18276-A: T 55 41 NiMo B M 2 H5 EN ISO 18276-A: T 55 61 NiMo B C 2 H5		> 550	640...760	> 23	> 60; –40 °C
EN ISO 18276-A: T 62 41 NiMo P M 1 H5	620	> 620	700...800	> 20	> 47; –40 °C
EN ISO 18276-A: T 62 5 Mn2,5Ni P M 1 H5		> 620	700...890	> 18	> 62; –40 °C > 47; –50 °C
EN ISO 18276-A: T 69 4 Z P M 1 H5	690	> 690	770...940	> 17	> 50; –40 °C

Таблиця 2. Хімічний аналіз складу металу шва ВМНЛ сталей різних класів міцності (типові значення в мас. %)

Класифікація порошкового дроту за стандартом EN ISO 18276	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo
EN ISO 18276-A: T 55 5 Z M M 1 H5	0,06	1,7	0,6	< 0,015	< 0,015	–	0,6	0,3
EN ISO 18276-A: T 55 41 NiMo B M 2 H5 EN ISO 18276-A: T 55 61 NiMo B C 2 H5	0,07	1,3	0,4	0,01	0,01	–	1,1	0,4
EN ISO 18276-A: T 62 41 NiMo P M 1 H5	0,07	1,40	0,40	< 0,015	< 0,015	–	0,9	0,4
EN ISO 18276-A: T 62 5 Mn2,5Ni P M 1 H5	0,08	1,35	0,35	< 0,015	< 0,015	–	2,2	–
EN ISO 18276-A: T 69 4 Z P M 1 H5	0,06	1,4	0,4	< 0,010	< 0,010	–	2,9	0,35
EN ISO 18276-A: T 69 4 Mn2NiCrMo M M 1 H5	0,05	1,5	0,5	0,01	0,01	0,4	2	0,4

Висновки

Отримані результати покладені в основу розробки порошкових дротів для зварювання ВМНЛ сталей і дозволили сформулювати основні етапи такої розробки наступним чином:

- розробка композиції осердь порошкових дротів для зварювання високоміцних сталей у захисній атмосфері захисного газу типу M21 (суміш Ar + CO₂) з урахуванням класу міцності від 600 до 800 МПа, які забезпечують досягнення струминного або струминно-краплинного переносу електродного металу при базовому діаметрі дроту 1,2 мм та дотриманні рекомендованих параметрів режиму зварювання;
- розрахунки хімічного складу наплавленого металу для швів, як одержують при дуговому зварюванні

плавленням на основі базових рекомендацій, внесених у стандарт EN ISO 18276 для зварювання сталей відповідного рівня міцності, що визначає частку дисперсної бейнітної складової мікроструктури шва, яка утворюється при аустенітно-феритному перетворенні в процесі охолодження металу зварного шва;

- експериментальне підтвердження відповідності мікроструктурного складу металу шва висунутим вимогам при дотриманні рекомендованих параметрів зварювального процесу;
- проведення повного циклу випробувань і перевірка відповідності результатів цих випробувань технічним вимогам, що висуваються до показників властивостей для з'єднань сталей відповідного рівня міцності.

Список літератури

1. Karlsson, L., Bhadeshia, H.K.D.H. (2007) Novelty in Welding Consumables. *Australian Welding J.*, 56, Third Quarter, 44–49.
2. Малышевский В.А., Грищенко Л.В., Барышников А.П. (1999) Сварочные материалы и технология сварки высокопрочных сталей. *Вопросы материаловедения*, 3, 20, 46–62.
3. Widgery, D.J., Karlsson, J., Muruganath, M., Keehan, E. (2002) Approaches in the development of high strength steel weld metals. *Proc. of 2nd Intern. symposium on high strength steel weld metals. Norway, Brussels, Belgium. The European Coal and Steel Community*, 1–10.
4. Wang W., Lin S. (2002) Alloying and microstructural management in developing SMAW electrodes for HSLA-100 steel. *Welding J., Research Supplement*, 81, 132–145.
5. Keehan E., Karlsson L., Andron H.-O. Svensson L.-E. (2006) New developments with C–Mn–Ni high strength steel weld metals properties. *Ibid.*, 85, 211–218.
6. Keehan, E., Karlsson, L., Thuvander, M., Bergquist, E.L. (2007) Microstructural characterization of as deposited and reheated weld metal – high strength steel weld metals. *Welding in the World*, 51, 44–49.
7. Шлепаков В.Н., Котельчук А.С. (2019) Улучшение качества, технологических и санитарно-гигиенических характеристик процесса дуговой сварки в среде защитного газа. *Автоматическая сварка*, 6, 33–38. DOI: <https://doi.org/10.15407/as2019.06.05>
8. Koseko, T., Thewlis, G. (2005) Inclusion in welds. *Material Science and Technology*, 21, 867–869.
9. Барышников А.П., Грищенко Л.В., Малышевский В.А. и др. (1996) Влияние содержания кислорода на ударную вязкость металла шва, выполненного в среде защитных газов. *Прогрессивные материалы и технологии*, 2, 221–227.
10. (2005) DSTU EN ISO 18276:2015 (EN ISO 18276:2006, IDT; ISO 18276:2006, IDT) *Матеріали зварювальні. Дрім порошковий для зварювання високоміцних сталей в захисних газах. Класифікація. ISO 18276:2006 (En) Welding consumables – Tubular cored electrodes for gas-shielded and non-gas-shielded metal arc welding of high-strength steels – Classification. ISO Office, Switzerland.*

References

1. Karlsson, L., Bhadeshia, H.K.D.H. (2007) Novelty in welding consumables. *Australian Welding J.*, 56, Third Quarter, 44–49.
2. Malyshevsky, V.A., Grishchenko, L.V., Baryshnikov, A.P. (1999) Welding consumables and technology of welding of high-strength steels. *Voprosy Materialovedeniya*, 3(20), 46–62 [in Russian].
3. Widgery, D.J., Karlsson, J., Muruganath, M., Keehan, E. (2002) Approaches in the development of high strength steel weld metals. In: *Proc. of 2nd Intern. Symposium on High Strength Steel Weld Metals (Norway, Brussels, Belgium). The European Coal and Steel Community*, 1–10.
4. Wang, W., Lin, S. (2002) Alloying and microstructural management in developing SMAW electrodes for HSLA-100 steel. *Welding J., Research Supplement*, 81, 132–145.
5. Keehan, E., Karlsson, L., Andron, H.-O. Svensson, L.-E. (2006) New developments with C–Mn–Ni high strength steel weld metals properties. *Ibid.*, 85, 211–218.
6. Keehan, E., Karlsson, L., Thuvander, M., Bergquist, E.L. (2007) Microstructural characterization of as deposited and reheated weld metal – high strength steel weld metals. *Welding in the World*, 51, 44–49.
7. Shlepakov, V.N., Kotelchuk, A.S. (2019) Improvement of technological and sanitary-hygienic characteristics of gas-shielded arc welding process. *The Paton Welding J.*, 6, 29–33. DOI: <https://doi.org/10.15407/as2019.06.05>
8. Koseko, T., Thewlis, G. (2005) Inclusion in welds. *Material Sci. and Technol.*, 21, 867–869.
9. Baryshnikov, A.P., Grishchenko, L.V., Malyshevsky, V.A. et al. (1996) Effect of oxygen content on impact toughness of weld metal produced in shielding gas medium. *Progressivnye Materialy i Tekhnologii*, 2, 221–227 [in Russian].
10. (2005) DSTU EN ISO 18276:2015 (EN ISO 18276:2006, IDT; ISO 18276:2006, IDT): *Welding consumables. Tubular cored electrodes for gas-shielded and non-gas-shielded metal arc welding of high-strength steels. Classification. ISO Office, Switzerland.*

DEVELOPMENT OF NEW GENERATION FLUX-CORED WIRES FOR GAS-SHIELDED ARC WELDING OF JOINTS OF LOW-ALLOY STEELS WITH ULTIMATE STRENGTH OF 640...940 MPA

V.M. Shlepakov, O.S. Kotelchuk


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

E-mail: office@paton.kiev.ua

The results of studying the properties of flux-cored wires with a metal core are considered, which were used as a base for suggesting approaches to development of compositions of flux-cored wires for gas-shielded arc welding of joints of low-alloy steels of higher and high strength. Application of dynamic thermal analysis of powder mixtures that model the wire core, enabled obtaining information on kinetics of the processes which develop at heating and melting of flux-cored wire compositions that allows optimizing the core compositions. Recommendations were developed on selection and application of flux-cored wires for welding low-alloy high-strength steels. 10 Ref., 2 Tabl., 3 Fig.

Keywords: arc welding, flux-cored wire, low-alloy high-strength steel

Надійшла до редакції 02.12.2020



Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України


Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Міжнародна Асоціація «Зварювання»

Десята міжнародна конференція

**ПРОМЕНЕВІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЗВАРЮВАННІ
та ОБРОБЦІ МАТЕРІАЛІВ**

6 – 11 вересня 2021 р.
Україна, Одеса



АДРЕСА ОРГКОМІТЕТУ
Україна, 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України
Тел./факс: (38044) 200-82-77; E-mail: journal@paton.kiev.ua
<http://pwi-scientists.com/ukr/ltwmp2021>