

СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЗВАРЮВАННЯ МАГІСТРАЛЬНИХ НАФТОГАЗОПРОВОДІВ

М.В. Панчук, Л.С. Шлапак, О.М. Матвієнків, О.Л. Козак

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел.(0342) 506612,
e-mail: z t k @ n i n g , e d u . u a

Проаналізовано технологічні особливості, режими зварювання та властивості зварних з'єднань основних способів з'єднання магістральних трубопроводів. Наведено дані про зварювальні матеріали, системи обладнання та організацію виконання робіт. Розглянуто технологічні аспекти забезпечення відтворювання якості зварних з'єднань при автоматичному орбітальному зварюванні. Описані тенденції та напрямки подальшого розвитку технологій зварювання трубопроводів.

Ключові слова: магістральний трубопровід, автоматичне зварювання, якість зварних з'єднань, керування краплеперенесення.

Проанализированы технологические особенности, режимы сварки и свойства сварных соединений основных способов соединения магистральных трубопроводов. Приведены данные о сварочных материалах, системах оборудования и организации выполнения работ. Рассмотрены технологические аспекты обеспечения воспроизведения качества сварных соединений при автоматической орбитальной сварке. Описаны тенденции и направления последующего развития сварки трубопроводов.

Ключевые слова: магистральный трубопровод, автоматическая сварка, качество сварных соединений, управляемый каплеперенос.

We have analyzed the technological peculiarities, welding regimes and welding joints properties of principle methods of main pipelines union. Welding materials data, equipment systems and operations executive organization are showed here. We have analyzed the technological aspects of welding joints quality reproduction under automatic orbital welding. The tendencies and directions of further development of pipeline welding technologies are described in this article.

Keywords: main pipeline, automatic welding, welding joints quality, drop transfer control.

З підвищенням вартості видобутку та транспортування нафтогазових продуктів необхідним є зниження собівартості та скорочення термінів будівництва трубопроводів. Відомо, що на зварювально-монтажні роботи припадає основна частина всього будівельного періоду. Зварювання значною мірою визначає якість магістральних трубопроводів та їхню експлуатаційну безпеку. Саме тому при спорудженні магістральних трубопроводів гостро стоїть проблема виконання зварювальних робіт з високою продуктивністю та стабільною якістю. Не зважаючи на те, що механізоване зварювання у промисловості застосовують понад 50 років, його частка в будівництві магістральних газопроводів на території СНД є досі ще незначною [1]. Водночас в ручному зварюванні досягнуто високої продуктивності завдяки застосуванню поточно-роздільного та поточно-групового методів [2].

Проведені наукові дослідження проблем механізації зварювальних робіт показали, що основними перешкодами для розширення його впровадження механізованого зварювання є дефекти зварних з'єднань, виконаних в стельовому положенні, при замиканні швів та заповненні розробки кромок, западання валиків швів під час виконання облицювальних проходів і підвищене розбризкування електродного металу [3]. Тому для забезпечення високої якості зварних з'єднань процеси механізованого зварювання потребують подальшого розвитку та вдосконалення.

Мета даної роботи – детальний аналіз способів зварювання магістральних нафтогазопроводів, що є першим кроком для розробки створення конкурентоздатного вітчизняного обладнання, яке забезпечує стабільне відтворювання якості зварних з'єднань в умовах коротких термінів будівництва та збільшення продуктивності праці.

На даний час для з'єднання поворотних та неповоротних стиків трубопроводів у польових та монтажних умовах все ширше впроваджуються напівавтоматичні технології американських фірм – зварювання самозахисним дротом типу Innershield та зварювання процесом STT.

Спосіб напівавтоматичного зварювання самозахисним дротом Innershield призначений для виконання кореневого, заповнюючих та облицювального шарів шва неповоротних стиків труб діаметром від 325 до 1220мм з товщиною стінок від 6 до 20мм [4]. Цей спосіб не потребує додаткового використання захисних газів та забезпечує високу продуктивність і якість зварювання трубопроводів. Стійкість процесу до дії сильного вітру вища, ніж при зварюванні покритими електродами. Сам дріт Innershield та наповнювачі осердя не гігроскопічні, тому дають змогу наплавляти метал з низьким вмістом водню. Комплекс зварювально-технологічних властивостей, необхідних для з'єднання неповоротних стиків труб, досягається введенням до складу наповнювача низки нетрадиційних компонентів – фториду літію, фториду барію та алюмінію.

Комплект устаткування для зварювання самозахисним порошковим дротом Innershield складається з трьох функціональних блоків - джерела живлення, пристрою подавання дроту і зварювального пальника.

Самозахисний порошковий дріт Innershield може бути використаний для комбінованих технологічних варіантів зварювання: зварювання кореневого шару електродами з основним видом покриття і всіх решти шарів дротом типу Innershield; зварювання кореневого шару шва і "гарячого" проходу електродами з целюлозним покриттям, арешти шарів дротом типу Innershield; зварювання кореневого шару шва електродами з целюлозним покриттям, "гарячого" проходу і всіх подальших шарів дротом типу Innershield; зварювання кореневого шару шва електродами з целюлозним покриттям, "гарячого" проходу і всіх подальших шарів дротом типу Innershield.

До сімейства Innershield входять не тільки дроти для зварювання трубопроводів, але і для зварювання резервуарів. Марку самозахисного порошкового дроту вибирають в залежності від міцності класу зварювальних труб:

- для зварювання труб зі сталей з нормативною межею міцності до 530 МПа включно використовується самозахисний порошковий дріт марки NR-208H діаметром 1,7мм;

- для зварювання стиків труб зі сталей з межею міцності від 540 до 580 МПа включно використовується самозахисний дріт марки NR-208H діаметром 1,7 і 2мм.

Спосіб зварювання самозахисним порошковим дротом Innershield має особливості, що зумовлюють його переваги перед ручним дуговим зварюванням штучними електродами, а саме:

- висока лінійна швидкість зварювання 14-20 м/год (порівняно з 4-8 м/год зварювання електродами з основним видом покриття);

- можливість інтенсифікування режиму зварювання (наприклад, за більшого діаметра дроту продуктивність наплавлення на 50% більша, ніж при ручному дуговому зварюванні електродами з основним видом покриття діаметром 4мм, для яких продуктивність наплавлення складає 1,4 кг/год);

- більша ефективність роботи зварника, оскільки нема потреби зупиняти процес зварювання для заміни електродів;

- низький відсоток ремонту зварних швів, оскільки дефекти шва можна усунути в процесі зварювання, використавши характерну для способу високу густину струму;

- можливість виконання зварювання за наявності сильного вітру через можливість особливого захисту крапель розплавленого металу та зварювальної ванни;

- можливість застосування способу для зварювання захлостів та під час виконання спеціальних зварювальних робіт;

- стислий термін навчання зварників - 10-20 днів.

Недоліком даного способу є те, що процес зварювання дротом проходить на високому струмі (230-300А) та супроводжується достат-

ньо інтенсивним розбризкуванням крапель металу, що мають високу температуру. У зв'язку з цим для зварювальників є необхідним використання спеціального одягу (шкіряні костюми) та масок.

В даний час широко застосовується процес зварювання методом STT, для зварювання корневих швів трубопроводів будь-якої товщини та всіх шарів шва трубопроводів з товщиною стінки до 8мм включно [5].

Абревіатура STT розшифровується як «Surfau Tension Transfer» - механізм перенесення краплі силою поверхневого натягу зварювання в середовищі захисних газів, що базуються на методі перенесення короткими замиканнями. Процес STT заснований на можливості безпосереднього керування умовами перенесення наплавленого металу у зварювальну ванну. Ця можливість забезпечується швидкодіючою інвентарною схемою джерела живлення, спеціальним електронним мікропроцесорним модулем, який примусово задає необхідний рівень зварювального струму та контуром зворотного зв'язку, що динамічно відслідковує зміну напруги на дузі [6].

В процесі зварювання, керованого джерелом живлення, величина сили струму залежить від стану газового проміжку. Час реакції системи на зміни, що відбуваються у зварювальній ванні, складає одиниці мікросекунди. Параметри дуги оптимізуються протягом всього процесу утворення та моменту перенесення кожної краплі розплавленого металу з електрода у зварювальну ванну. Схема керування струмом дуги дозволяє усунути недоліки, властиві звичайному зварюванню, що проходить в режимі короткого замикання - жорсткої дуги та значного розбризкування. Пінчфетк додатково допомагає краплі відділитись, але не є основним механізмом переносу, як це спостерігається при звичайному зварюванні короткими замиканнями.

При спорудженні трубовідних систем набула поширення технологічна схема, за якої на трубозварювальних базах виготовляли секції з двох або трьох труб, після чого їх транспортували на трасу і з'єднували в нитку ручним дуговим, контактним зварюванням або за допомогою установок "Стик". Зварювання секцій на трубозварювальних базах, розміщених в безпосередній близькості до будівництва, дозволяє прискорити виконання монтажних робіт, особливо в умовах холодного клімату, та знизити витрати на виконання робіт безпосередньо на трасі [7].

Спеціалістами компанії Lincoln Electric розроблена та запущена у виробництво трубозварювальна база, що дозволить скористатися перевагами напівавтоматичного зварювання за процесами STT та автоматичного зварювання під шаром флюсу [8].

Сформований за допомогою процесів STT тонкий корінь шва гарантовано переплавляється під час зварювання під флюсом, чого не завжди вдається досягнути при використанні гарячого проходу ручними електродами або напівавтоматом.

Перевагами такої технології є те, що вона поєднує простоту установок ПАУ з якістю систем БТС, та, маючи при цьому більшу продуктивність, дозволяє надалі вдосконалювати організацію виробництва при зварюванні плітей труб. Використання такої трубоварювальної бази передбачає велику продуктивність та якість зварювальних робіт.

Останнім часом, коли газопроводи почали будувати із труб довжиною 18 м із заводським ізоляційним покриттям, відбулися структурні зміни в організації та методах зварювальних робіт. Практично відмовились від трубоварювальних баз для виробництва дво- або тритрубних секцій та перейшли до зварювання поодиноких труб безпосередньо на трасі.

Таким чином, зварювальні роботи перенесені на трасу і зводяться переважно до з'єднання одиничних труб в нитку та виконанні спеціальних операцій. Це дає змогу значно спростити транспортну схему доставки труб до місця монтажу, повністю відмовитись від завантажувально-розвантажувальних робіт, пов'язаних з функціонуванням трубоварювальних баз, суттєво скоротити пошкодження ізоляційного покриття труб, що, без сумніву, призведе до скорочення загальних витрат на виробництво будівельно-монтажних робіт.

Система автоматичного зварювання «CRS-Evans», що використовується в такій технологічній схемі, призначена для двостороннього зварювання стиків труб діаметром від 680 до 1420 мм. В даній системі реалізований процес зварювання тонким електродним дротом суцільного перерізу в середовищі захисних газів [9].

Відомо, що якість підготовки кромки труб є одним з найважливіших факторів отримання надійного зварного з'єднання. В більшості систем «CRS-Evans» ця технологічна операція виконується шляхом переточування кромки труб під вузьку розробку з допомогою оригінальних установок. Спеціальна розробка кромки дає змогу різко підвищити якість зварювання і повторюваність результатів, збільшити продуктивність і зменшити об'єм металу, що наплавляється.

На другому етапі здійснюється зварювання кореня шва за однією із технологій:

– зсередини – за допомогою внутрішньої зварювальної станції;

– ззовні – із використанням внутрішнього центратора з вмонтованим мідним підкладним кільцем;

– ззовні – із використанням стандартного внутрішнього центратора за технологією STT.

На завершальному етапі процесу зовнішніми зварювальними головками виконується гарячий прохід, та заповнюючі і облицювальні проходи. Такі головки встановлюються ззовні на направляючому поясі, що охоплює трубу. При застосуванні процесу STT для зварювання кореня шва не потребує виконання гарячого проходу, а також дозволяє уникнути переточування заводської кромки на трасі та зварювати труби з фіксованим зазором до 4 мм.

Теплофізичні властивості дуги та зварювальної ванни, характерні для процесу перенесення металу під дією сил поверхневого натягу, дозволяють вести процес зварювання та отримувати зворотний валик потрібних розмірів у всіх просторових положеннях.

Конструкція та склад обладнання комплексу «CRS-Evans» забезпечують підвищення продуктивності зварювання шляхом зменшення товщини шару наплавленого металу при використанні спеціальної вузької розділки та складання без зазору кромки у поєднанні з підвищеним коефіцієнтом наплавлення при зварюванні тонким електродним дротом. Використання швидкодіючого пневматичного центратора скорочує час складання стику, оскільки не потрібно встановлювати зазор. Багатоголовкові зварювальні автомати дозволяють скоротити час зварювання, чим забезпечується високий темп виконання робіт на трасі магістрального трубопроводу.

Такі особливості конструкції дозволили використовувати автоматичний зварювальний комплекс «CRS-Evans» при спорудженні більш як 45 000 км трубопроводів по всьому світу. Діаметр труб коливався від 400 до 1 520 мм з товщиною стінки до 50 мм і більше. Система апробована в екстремальних погодних умовах: за температур до -40°C на Алясці, в Канаді та Росії; у субтропічному кліматі Мексики та Венесуели, в пустелях Техасу, Ірану та Саудівської Аравії.

Створення зварювальних систем, здатних керувати перенесенням краплини розплавленого металу за рахунок зміни форми зварювального струму, є пріоритетним напрямком дослідницької діяльності та практичних розробок сучасних підприємств в області напівавтоматичного зварювання [10,11,12,13]. Не зважаючи на майже вдвічі вищу вартість таких систем в порівнянні з обладнанням традиційного типу в умовах жорстких та постійно зростаючих вимог до якості зварних з'єднань, їхнє використання економічно більш доцільним. Це підтверджується великою зацікавленістю до такого обладнання з боку представників різних галузей промисловості.

Інститутом електрозварювання ім. Патона також були проведені науково-дослідні роботи, результатом яких стали: технічний проект модернізованого комплексу обладнання «Стик», технологія та зварювальні матеріали для автоматичного дугового зварювання неворотних стиків труб порошковим дротом з примусовим формуванням металу шва. Запропонована технологія передбачає зварювання всіх проходів зварного з'єднання електродувим зварюванням порошковим дротом способом «знизу-угору» двома зварювальними головками кожного апарату у повністю автоматичному режимі з програмним забезпеченням [14].

Кореневий шов виконується ззовні з'єднання труб з використанням внутрішнього центратора та спеціального мідного підкладного кільця, що забезпечує формування зворотного валика. Наступними проходками заповнюють

розробку та виконують облицювальний шов. За кожний прохід розробка заповнюється на 5-8 мм (залежно від товщини стінки труби). Система автоматичного управління забезпечує в процесі зварювання неперервне протоколювання основних параметрів процесу.

В проекти спорудження сучасних магістральних трубопроводів закладаються нові високі вимоги як до основного металу (використання труб із високоміцних сталей класу X70 і X80), так і зварювальних матеріалів, а також до самого технологічного процесу, при реалізації якого обов'язково неперервна реєстрація та папортизація всіх параметрів зварювання для кожного з'єднання. Варто врахувати, що об'єм зварювальних робіт при цьому також збільшується через необхідність наплавлення великого об'єму металу при зварюванні труб з підвищеною товщиною стінки (до 32 мм), що використовується в газопроводах високого тиску.

У зв'язку з цим були розроблені нові марки порошкового дроту для зварювання з примусовим формуванням шва, які б забезпечили необхідні властивості металу.

В даний час для якісного формування кореневих швів при орбітальному зварюванні неповоротних стиків трубопроводів використовують спеціальні формуючі пристрої. У ряді випадків при спорудженні та, особливо, ремонті трубопроводів, використання формувальних пристроїв ускладнене або взагалі неможливе через обмеженість робочого простору, складності доставки до місця виконання робіт, відсутності доступу до внутрішньої порожнини труб. В цьому випадку необхідно забезпечити формування кореневого шару на вазі без підкладки. Однією з вітчизняних розробок, яку можна використати для даних цілей, є аргонодугове зварювання неплавким електродом з активуючим флюсом (АТІГ). В основу даної технології покладена активація процесів у дузі при зварюванні в захисних газах, що дозволяє в декілька разів порівняно з традиційним способом збільшити концентрацію нагріву металу та в 2-3 рази глибину проплавлення без збільшення сили зварювального струму.

Результати досліджень свідчать, що застосування АТІГ способу забезпечує якісне формування кореневих швів у всіх просторових положеннях при сумарній товщині притуплення до 6 мм та без зазору між кромками зварюваних труб. Зварювання виконують ззовні з'єднання без формуючої підкладки.

При товщині стінки труби до 6 мм та відповідній якості збирання стику розробка кромок не потрібна. Неповоротний стик виконують за один прохід з повним проплавленням та формуванням зворотної сторони без підкладки. При зварюванні труб великої товщини необхідним є заповнення розробки. Для заповнення можна використовувати різні механізовані способи зварювання: порошковим дротом або дротом суцільного перерізу в середовищі захисних газів.

Крім дугових методів зварювання широко застосовується набуло контактне стикове зва-

рювання оплавленням, яке уможливило автоматизацію процесу зварювання неповоротних стиків до високої продуктивності процесу та виключення зварювальних матеріалів. Продуктивність процесу контактного зварювання мало залежить від перерізу труби. Отримання зварних з'єднань з оптимальними властивостями при контактному стиковому зварюванні можливе при нагріванні та осадці стику, виконаних за заданою програмою.

Конструкція зварювальної машини та технологія електроконтактного зварювання були розроблені в інституті ім. Патона [15]. На базі цих розробок в 1980 році був створений унікальний комплекс машин «Север» для з'єднання труб діаметром 1420 мм. Досвід використання контактного зварювання оплавленням свідчить, що якість зварних швів, отриманих цим способом, значно меншою мірою залежить від кліматичних умов, точності збирання труб, кваліфікації операторів, ніж при інших способах зварювання. Кількість дефектів не перевищує 0,4% від загальної кількості зварних швів, тоді як при використанні сучасних автоматичних способів електродугового зварювання складає 4-7% від загальної кількості стиків. Продуктивність контактного зварювання оплавленням складає від 8 до 10 стиків за годину за мінімальної кількості обслуговуючого персоналу 11-13 робітників.

Багаторічна експлуатація трубопроводів різних діаметрів із сталей різної міцності, збудованих з використанням контактного зварювання оплавленням, підтверджує їхню високу надійність. Цим методом було зварено понад 60 000 кілометрів трубопроводів. З них більш як 1 000 000 стиків виконано на трубах великого діаметру (1420 мм). Цей метод забезпечував високу продуктивність будівельно-монтажних робіт та надійність об'єктів. Термін експлуатації багатьох трубопроводів досяг 30-40 років, та до сьогоднішнього дня не зафіксовано жодної відмови по з'єднанню, виконаному стиковим контактним зварюванням оплавленням.

В даний час контактне зварювання оплавленням (КЗО) практично не використовується для зварювання неповоротних стиків труб великого діаметру, тому що технологія та обладнання не сертифіковані у відповідності до нових нормативних вимог. Для сертифікації необхідно вирішити низку технічних проблем, зокрема, покращити якість зрізання ґрату, сертифікувати технологію неруйнівного контролю, забезпечити підвищені вимоги до величини ударної в'язкості зварних з'єднань.

В інституті зварювання ім. Патона проводяться роботи із вдосконалення технології, обладнання та засобів контролю з'єднань, виконаних КЗО. Розроблена технологія зварювання неповоротних труб, що забезпечує отримання якісних з'єднань за меншої енергоємності процесу та втратах металу на оплавлення, виготовлені та апробовані пристрої чистого усунення ґрату та засоби термообробки. Успішне вирішення проблем, пов'язаних з модернізацією установок «Север» дає змогу значно розширити

використання цього прогресивного методу зварювання при спорудженні нафтових і газових магістралей.

В інституті електрозварювання ім. Патона сумісно з ЗАТ «Псковелектрозвар» та ЗАТ «Югстроймонтаж» розроблено принципово нову високопродуктивну технологію зварювання труб великого діаметру, в тому числі і товсто-стінних [16]. Суть цієї технології полягає в тому, що корінь шва зварного з'єднання труб зварюють контактним зварюванням оплавленням, а заповнення виконують автоматичним порошковим дротом з примусовим формуванням шва.

В результаті суміщення двох апробованих способів зварювання дало позитивний ефект. Механічні властивості отриманого у такий спосіб зварного з'єднання повністю задовольняють вимогам вітчизняних та міжнародних нормативних документів.

Важливою передумовою для реалізації ідеї керованого переносу є наявність відповідного інструменту – швидкісного інверторного зварювального джерела, здатного отримувати і обробляти інформацію, а також керувати вихідними параметрами на всіх фазах формування краплі та її переходу у зварювальну ванну. Кореневий шов – головна складова зварювального стику трубопроводу. Якість і продуктивність при виконанні кореневого шва визначають темпи будівництва всієї магістралі.

Головною перевагою нового способу автоматичного зварювання буде можливість використовувати труби з стандартною заводською або різаною тридцятиградусною розробкою з зазором 2,5-4 мм. Коефіцієнт наплавлення при використанні порошкового дроту для зварювання заповнюючих та облицювальних швів утричі перевищує показник при ручному зварюванні. А всі разом взяті особливості уможливають зварювання труб практично будь-якого діаметру з високою продуктивністю, та роблять нову технологію однією з найперспективніших.

До цікавих та перспективних розробок зварювання трубопроводів можна віднести технологію автоматичного електродугового зварювання неплавким електродом з використанням активуючого флюсу, який наноситься на кромки труби перед зварюванням. Технологія успішно використовується при зварюванні товсто-стінних труб в атомній енергетиці: за один прохід проплавляються кромки труб завтовшки до 6 мм [14].

Останнім часом все більше викликає інтерес використання лазерних технологій [17]. Завдяки малим розмірам зварювальної ванни і кута сходження сфокусованого випромінювання лазерне зварювання дає можливість значно зменшити кут оброблення зварюваних кромок. Внаслідок високої швидкості лазерного зварювання порівняно невелика погонна енергія дозволяє мінімізувати теплову дію на зварювані деталі, зменшити розмір зони термічного впливу (ЗТВ) і залишкові деформації. Дрібнозерниста структура литого металу шва і ЗТВ сприяють підвищенню корозійної стійкості зварних з'єднань.

За останні десятиліття проведено низку наукових досліджень, в результаті яких з'явилися технічні рішення, що дозволяють використовувати лазерне або гібридне лазерно-дугове зварювання для монтажу магістральних трубопроводів. Так, фірма VITS (Німеччина) спільно з науково-дослідним інститутом BIAS (м. Бремен, Німеччина) розробила спосіб однопрохідного лазерного зварювання неповоротних стиків магістральних трубопроводів з товщиною стінки 5-20 мм з використанням випромінювання потужного (близько 20 кВт) волоконного лазера.

У Інституті зварювання (м. Галле, Німеччина) створена і успішно випробувана машина для двопрохідного гібридного лазерно-дугового зварювання неповоротних стиків труб великого діаметру. Другий прохід виконували дуговым зварюванням, тобто лазерне випромінювання використовували лише для формування кореневого шва.

Для практичного використання процес лазерного та гібридного зварювання трубопроводів ще потребує досліджень і вдосконалення.

Висновки

Подальший розвиток трубопровідного транспорту забезпечуватиметься спорудженням наддалеких магістралей нового покоління з високим рівнем безпеки, надійності і ефективності, за рахунок високої якості зварних швів, вдосконалення зварювальних технологій.

В проекти спорудження сучасних магістральних трубопроводів закладаються нові високі вимоги як до основного металу (використання труб із високоміцних сталей класу X70, X80 і X100), так і зварювальних матеріалів, а також до самого технологічного процесу, при реалізації якого обов'язкова неперервна реєстрація та паспортизація всіх параметрів зварювання для кожного з'єднання.

Збільшення експлуатаційного ресурсу магістральних трубопроводів безпосередньо пов'язане з подальшим підвищенням якості зварних з'єднань за високої продуктивності зварювання. Одним із шляхів вирішення вказаних задач є використання лазерного та гібридного зварювання.

Для розробки технологій і створення сучасного конкурентоздатного вітчизняного обладнання необхідно провести дослідження та вивчити особливості переходу краплі електродного металу у ванну при зварюванні у різних просторових положеннях.

Література

- 1 Вышемирский Е.М. Состояние и основные направления развития сварочного производства ОАО "Газпром" // Сварка и диагностика. – 2009. – №1. – С. 16–19.
- 2 Сварочно-монтажные работы в трубопроводном строительстве [Текст]: учебное пособие для вузов / А.Ф. Суворов, Г.Г. Васильев, Ю.А. Горяинов [и др.]. – М.: ЗАО «Звезда», 2006. – 240 с.: ил.

- 3 Галкин В.А. Опыт разработки современных отечественных технологий и оборудования для механизированной сварки магистральных газопроводов / В. А.Галкин, А. Л. Латішев, Д.Г. Будревич // Сварка и диагностика. – 2011. – №2. – С. 37 – 43.
- 4 Мазур И.И. Безопасность трубопроводных систем / И.И.Мазур, О.М.Иванцов. – М.: ИЦ “ЕЛИМА”, 2004. – 1104 с., илл.
- 5 Сварка трубопроводов: учеб.-метод. комплекс для студ. спец. 1-70 05 01 «Проектирование, сооружение и эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехранилищ», Сост. и общ. ред. А.С. Снарского. – Новополюк: УО «ПГУ», 2006. – 160 с.
- 6 Строительство магистральных трубопроводов: справочник / В.Г.Чирсков, В.Л.Березин, Л.Г. Телегин и др. – М.: Недра, 1991. – 475 с.: ил.
- 7 Сварочно-монтажные работы в трубопроводном строительстве [Текст]: учебное пособие для вузов / А.Ф. Суворов, Г.Г. Васильев, Ю.А. Горяинов [и др.]. – М.: ЗАО «Звезда», 2006. – 240 с.: ил.
- 8 www.Arguslimited.com.ua/upload/files/DoubleJointer.pdf
- 9 Pipelaying.pipelines.ru/public/upload/files/brochures/CRC_2011.pdf
- 10 Гецкий О.Б. Воспроизводимость качества сварных соединений при автоматической орбитальной сварке с управляемым каплепереносом электродного металла / О.Б. Гецкий, Б.Л. Гецкий, С.И. Полосков // Сварка и диагностика. – 2009. – № 2. – С. 47–53.
- 11 Гецкий О.Б. Моделирование процесса переноса электродного металла при сварке с короткими замыканиями / О.Б. Гецкий, В.А. Ерофеев, С. И. Полосков // Автоматическая сварка. – 2009. – №2. – С.16–21.
- 12 Гецкий О.Б. Физико-математическая модель системы источник питания – дуга для сварки плавящимся электродом в защитных газах / О.Б. Гецкий, С.И. Полосков, В.А. Ерофеев, О.П. Витько // Тяжелое машиностроение. – 2008. – №6. – С. 18–20.
- 13 Полосков С.И. Особенности теплопереноса при сварке плавящимся электродом с короткими замыканиями дугового промежутка / С. И. Полосков, Ю.С. Ищенко, В.А. Лебедев, О.Б. Гецкий // Сварочное производство. – 2002. – № 7. – С. 6–13.
- 14 www.rosngs.ru/chfiles/4724.doc?PHPSESSID.
- 15 Сварка трубопроводов [Текст]: учебное пособие / Ф.М. Мустафин, Н.Г. Блехерова, О.П. Квятковский [и др.]. – М.: ООО “Недра Бизнесцентр”, 2002. – 350 с.
- 16 Хоменко В.И. Новая высокопроизводительная технология комбинированной сварки магистральных трубопроводов большого диаметра / В.И. Хоменко, С.И. Журавлев, А.Я. Сударкин, С.И. Кучук-Яценко // Мир сварки. – 2010. – № 4. – С. 32–37.
- 17 Шелягин В.Д. Перспективы применения лазерной и гибридной технологий сварки сталей для повышения эксплуатационного ресурса трубопроводов / В.Д. Шелягин, В.Ю. Хаскин, А.Б. Бернацкий // Автоматическая сварка. – 2010. – № 10. – С. 37-40

Стаття надійшла до редакційної колегії

16.06.11

Рекомендована до друку професором

В.Я. Грудзом