



Матвієнків О. М.

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ТА РЕМОНТУ ЗБІРНО- РОЗБІРНИХ ТРУБОПРОВОДІВ

Досліджено міцність зварних та паяних з'єднань, оцинкованих труб, збірно-розбірних польових магістральних трубопроводів. Встановлено, що з'єднання виконані методом дугового паяння, при-садковим дротом $CuAl8$, володіють достатньою міцністю. За рахунок малого теплового впливу, при дуговому паянні, не відбувається руйнування захисного цинкового покриття в місці з'єднання.

Ключові слова: дугове паяння, цинкові покриття, паяний шов, механічні випробування, міцність з'єднання, зусилля розтягу.

1. Вступ

Збірно-розбірні, польові магістральні трубопроводи (ПМТ), мають давню історію, та широко застосовуються у військовій та цивільній галузях. Завдяки своїй мобільності, швидкості монтажу, протикорозійній стійкості та надійності з'єднань дані трубопроводи, мають вагомі переваги над стаціонарними трубопроводами, в умовах що потребують швидкого прокладання трубопроводу. А саме це військові дії, важко прохідні болотні місцевості (від нафтових родовищ), надзвичайні ситуації (гасіння лісових пожеж), та ін.

Для забезпечення корозійної стійкості збірно-розбірних ПМТ, вони виготовляються із низьколегованих сталей та покриваються цинковим металевим покриттям.

Зазвичай при виготовленні та ремонті ПМТ, для приєднання з'єднувальних елементів до труб застосовується дугове MIG/MAG зварювання.

Застосування дугового зварювання для з'єднання оцинкованих матеріалів, під дією високих зварювальних температур призводить до руйнування та вигорання захисного покриття. При цьому зварний стик залишається без захисту, та потребує відновлення захисного покриття для забезпечення корозійного захисту.

Дослідження нової технології дугового паяння при-садками на основі міді, може замінити дугове зварювання, при виготовленні та ремонті ПМТ, забезпечивши задовільну міцність з'єднання, та цілісність захисного покриття в місці з'єднання.

Цим обґрунтовується актуальність проведеного дослідження.

2. Об'єкт дослідження та його технологічний аудит

Об'єктом дослідження є збірно-розбірні, польові магістральні трубопроводи, які вперше появились в 30-х роках минулого століття, практично одночасно в СРСР і США. Дані трубопроводи були розроблені для військових потреб та тривалий час використовувались тільки військовиками. Лише з 1996 року польові магістральні трубопроводи почали застосовуватись в цивільному будівництві.

Завдяки високим темпам прокладання при відносно невеликих матеріальних та трудовитратах, ПМТ широко

використовуються для перекачування нафти, нафтопродуктів, води, рідких відходів та інших рідин у великих об'ємах на малі та середні відстані. Зокрема при умовному діаметрі трубопроводу 150 мм і робочому тиску 6,0 МПа, можна перекачувати до одного мільйона тонн нафти (нафтопродуктів) за один рік.

Розтрубні з'єднання польових магістральних трубопроводів (рис. 1) дозволяють провидити швидкий монтаж та демонтаж труб, без використання зварювання.

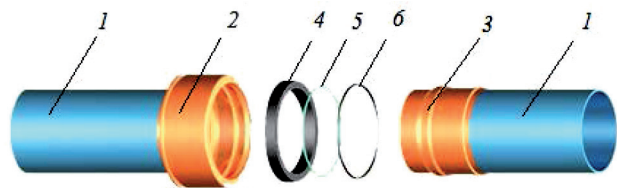


Рис. 1. Розтрубне з'єднання трубопроводу ПМТ-150: 1 — труба; 2 — розтруб; 3 — манжета; 4 — пористе гумове кільце; 5 — металеве фіксує кільце; 6 — гумове ущільнює кільце

Труби для польових магістральних трубопроводів виготовляють із низьколегованої сталі марки 16ГС, діаметром 100, 150, та 200 мм з товщиною стінки до 4 мм. Для запобігання впливу корозії труби покривають тонким шаром цинку, методом гарячого цинкування.

В Україні єдиним підприємством з виготовлення та ремонту польових магістральних трубопроводів є Івано-Франківський 63 Котельно-зварювальний завод ДП МО України.

При виготовленні та ремонті польових магістральних трубопроводів, потрібно приєднати манжет і розтруб до тіла труби. Традиційно для цього використовують дугове MIG/MAG зварювання. Але як відомо з'єднання оцинкованих матеріалів, дуговим зварюванням, створює значні труднощі зумовлені інтенсивним випаровуванням цинку. Випари цинку, є не тільки шкідливими для здоров'я людини, але й призводить до утворення дефектів у шві. А саме пор, гарячих тріщин, а також руйнування цинкового покриття в навколошовній зоні, що потребує додаткових заходів протикорозійного захисту зварного шва та пошкодженої ділянки біля шва.

Застосування нових технологій дугового паяння, за рахунок малого теплового впливу дозволить забезпечити

з'єднання оцинкованих матеріалів без руйнування або з незначними руйнуваннями захисного цинкового покриття.

3. Мета та задачі дослідження

Метою даної роботи було визначення механічних властивостей з'єднань труб виконаних методом дугового паяння, та обґрунтувати застосування даної технології для виготовлення та ремонту труб збірно-розбірних польових магістральних трубопроводів, як альтернативи дуговому зварюванню.

Для досягнення поставленої мети вирішувались наступні задачі:

- механічні випробування, на розтяг та згин, з'єднань труб виконаних дуговим паянням та зварюванням;
- дослідження механічних властивостей, вимірюванням твердості в перерізі з'єднань.

4. Аналіз літературних даних

Останніми роками відомими автомобільними концернами, для з'єднання оцинкованих деталей, широкого застосовується технологія дугового паяння [1].

Основною відмінністю дугового паяння від зварювання є значно менший тепловий вплив на поверхню з'єднуваних деталей. А саме використання процесу дугового паяння, присадковими дротами зі сплаву на основі міді (CuSi3 та CuAl8) в середовищі інертного газу (аргону), зменшує випаровування цинку завдяки низькій температурі плавлення присадкового дроту (від 900 °C до 1100 °C), та зменшує пошкодження покриття. Як показують власні дослідження, та дослідження в інших роботах [2] у даному процесі не відбувається плавлення основного металу, а забезпечення міцності зварних з'єднань відбувається за рахунок дифузії. А саме за рахунок ширини дифузійного шару між швом та основним металом [3].

Процес дугового паяння поєднує в собі переваги процесу MIG/MAG зварювання (висока швидкість зварювання, можливість механізації та автоматизації), а також процесу паяння (без інтенсивного плавлення зварюваних деталей та без значної зміни механічних властивостей основного металу і захисного покриття) [4].

Дослідження корозійної стійкості з'єднань, виконаних методом дугового паяння, проведені авторами в роботі [5] показали що дугове паяння має незначний вплив на захисне покриття.

Ефективність методу дугового паяння, для з'єднання оцинкованих матеріалів, досліджена також в роботах [6], але дослідження у всіх цих роботах проводились для з'єднань внапустку, тонколистових конструкцій із максимальною товщиною до 2 мм.

Як відомо зі збільшенням товщини з'єднуваних оцинкованих матеріалів збільшується площа поперечного перерізу шва, а відповідно збільшується погонна енергія процесу, що призводить до швидкого нагріву з'єднуваних кромки [7]. Нагрів до температури вищої за температуру випаровування цинку (~906 °C) може призвести до пошкодження захисного покриття в місці з'єднання. Зменшити погонну енергію, а відповідно тепловий вплив на з'єднувані поверхні, можна за рахунок використання стикових з'єднань зі скосом кромки, та заповнення розділки в два шари.

Як бачимо більшість робіт в даному напрямку проводились для дослідження дугового паяння тонких листів в напустку, а наведені в цих роботах результати, не дають можливості стверджувати про можливість застосування даної технології для виготовлення та ремонту ПМТ.

Тому застосування технології дугового паяння для стикових з'єднань даних труб, потребує детального дослідження механічних властивостей паяних з'єднань.

5. Матеріали та методи дослідження

Для проведення досліджень із пакету труб польових магістральних трубопроводів ПМТП-150 було вирізано котушки довжиною 200 мм. Дані труби мають діаметр 150 мм, товщину стінки 3,2 мм, виготовлені зі сталі марки 16ГС, покритої тонким шаром цинку методом гарячого цинкування.

Як відомо використання, при дуговому паянні, спеціальних присадкових матеріалів CuSi3 та CuAl8, які мають значно меншу температуру плавлення, порівняно з основним металом, пошкодження захисного покриття майже не відбувається.

Дугове зварювання та паяння проводилось з використанням присадкових дротів марок Св-08Г2С, а також CuSi3 та CuAl8. В якості захисного середовища для електродугового зварювання використовувалась суміш газу Ar (82 %) + CO₂ (18 %), а для дугового паяння — чистий аргон.

На стабільність процесу дугового паяння, та перенесення рідкого металу, суттєво впливають правильно підібрані параметри режиму та джерело живлення [8].

Поява на ринку сучасного зварювального обладнання з цифровим керуванням, зокрема відомої фірми «FRONIUS» значно розширює можливості застосування технології дугового паяння. Сучасні програмовані джерела живлення для дугового паяння дозволяють за рахунок вибору параметрів основного та імпульсного струму, досягнути керованого, без кроткого замикання перенесення електродного матеріалу в шов. Завдяки режиму «Synergic» можна запрограмувати параметри режиму, та керувати за допомогою однієї кнопки, що спрощує обслуговування джерела [9].

Дугове паяння та зварювання зразків проводилось з використанням сучасного зварювального напівавтомата австрійської фірми «FRONIUS» системи TPS-270i. Головна відмінність даної системи від аналогів в своєму класі — це технологія керованого переносу металу Steel Transfer Technology.

Для дугового паяння використовувались зразки труб зі скосом кромки, а для заповнення розділки паяння виконувалось в два шари. Дугове зварювання проводилось на зразках з прямими кромками, та зачищеним цинковим покриттям на 10 мм від краю кромки, в один шар.

Із готових трубних зразків (рис. 2), вирізались та виготовлялись зразки для механічних випробувань, а також темплети для вимірювання твердості в перерізі з'єднань.

За вимогами ГОСТ 6996-66, було підготовлено зразки для подальших механічних випробувань (рис. 3).

Механічні випробування проводились з використанням універсальної випробувальної машини УММ-50, із записом діаграми розтягу. Випробування на загин виконувались для визначення кута загину до появи першої тріщини в шві.



Рис. 2. Готові трубні зразки

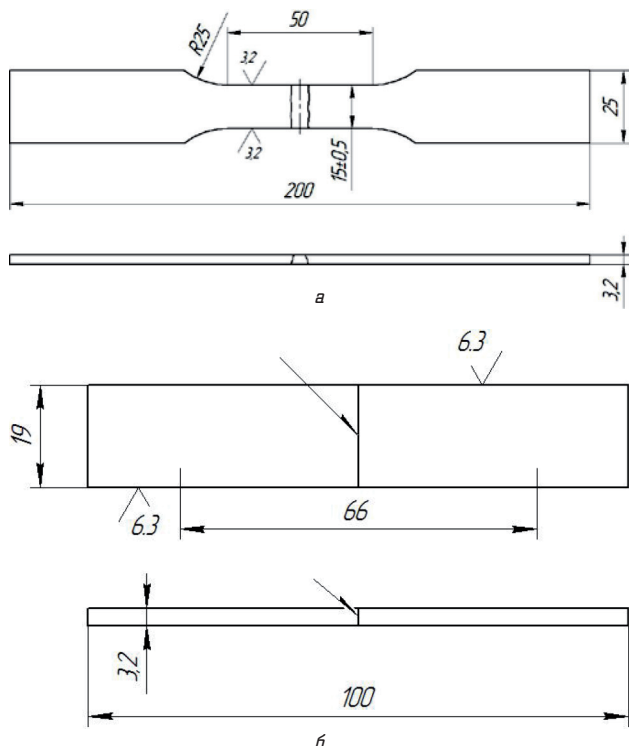


Рис. 3. Форма та геометричні розміри плоских зразків: *а* — зразок для випробування на розтяг; *б* — зразок для випробування на згин

Вимірювання твердості проводилось за методикою Роквелла по шкалі «В». В якості індентора використовували сталеву кульку діаметром 1,588 мм, так як вона залишає невеликі відбитки, з максимальним діаметром 0,26 мм.

6. Результати механічних випробувань, та дослідження властивостей зварних і паяних з'єднань труб ПМТ

Міцність паяних з'єднань в основному залежить від використовуваного присадкового дроту. Після проведення випробування бачимо зразок, виконаний дуговим паянням дротом CuSi3 (рис. 4, *а*), зруйнувався по шву, що пояснюється малими показниками міцності даного дроту. Зразок виконаний дротом CuAl8 (рис. 4, *б*) зруйнувався по межі сплавлення металу шва з основним металом, з частковим відривом основного металу. Як бачимо з рис. 4, *в* руйнування зразка, виконаного дуговим зварюванням в захисному газі, дротом Св-08Г2С, відбулося в місці термічної деградації основного металу, що пояснюється більшим тепловим впливом при зварюванні, ніж при паянні.

Враховуючи те, що шви зварних та паяних з'єднань, на досліджуваних зразках не оброблялись, та мали відхилення геометричних розмірів, то традиційне визначення показників міцності буде неточним. Тому порівняння міцності з'єднань доцільно проводити за діаграмами їх розтягу. При проведенні випробувань було записано машинні діаграми розтягу зразків, які в подальшому були оброблені в графічному редакторі, та представлені на рис. 5.

Як бачимо з діаграм розтягу найменше зусилля розтягу, до руйнування, є в зразка, виконаного дротом CuSi3, а найвищим у зразка, виконаного дротом Св-08Г2С, дещо меншим від нього є зусилля розтягу зразка, виконаного дротом CuAl8. Все це є закономірним, та пояснюється показниками міцності даних присадкових матеріалів.

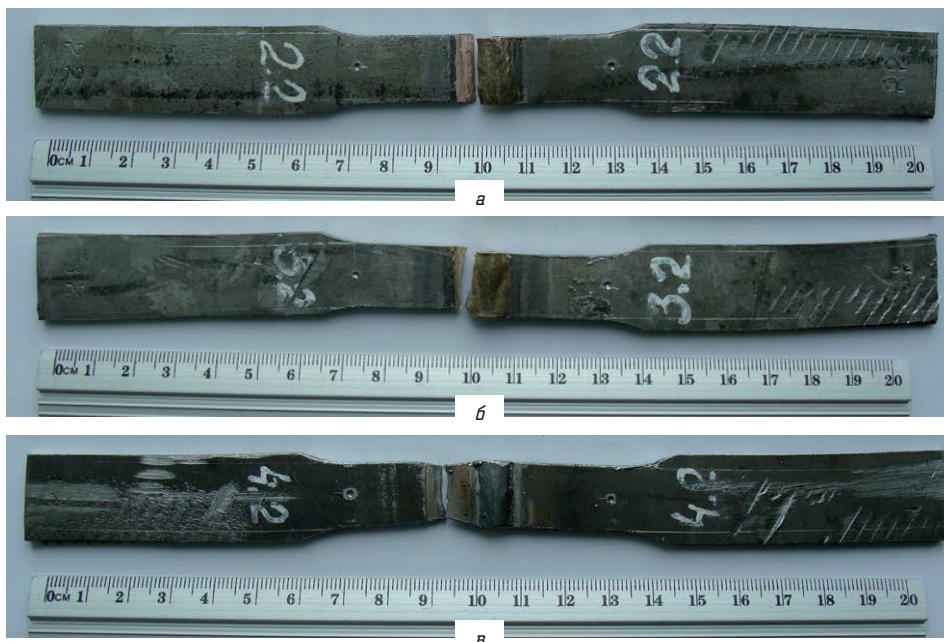


Рис. 4. Зразки паяних та зварних з'єднань після випробувань: *а* — дугове паяння дротом CuSi3; *б* — дугове паяння дротом CuAl8; *в* — зварювання дротом Св-08Г2С

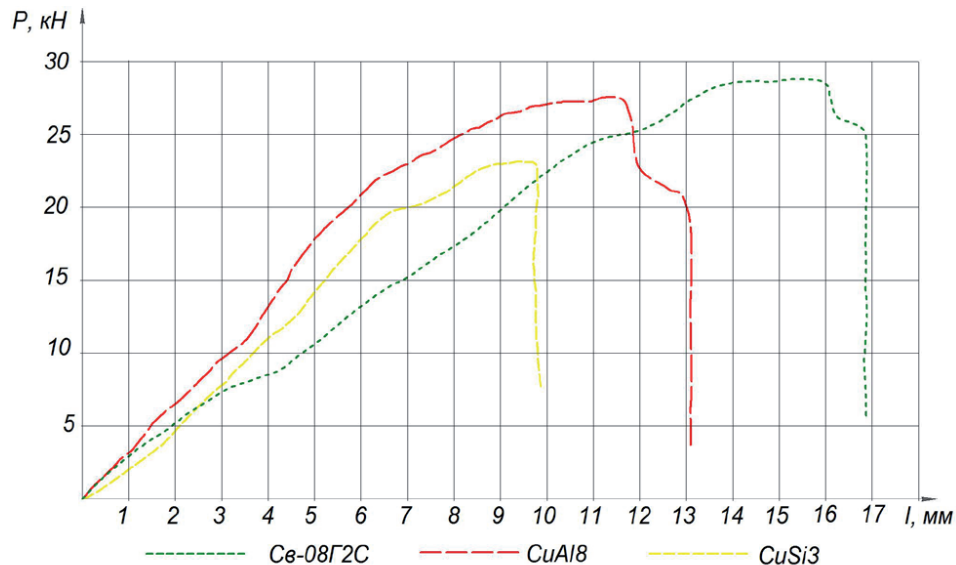


Рис. 5. Зусилля розтягу зразків паяних та зварних з'єднань

За результатами вимірювання твердості в перерізі з'єднань, для визначення механічних властивостей зварних та паяних з'єднань, було побудовано графіки розподілу твердості (рис. 6).

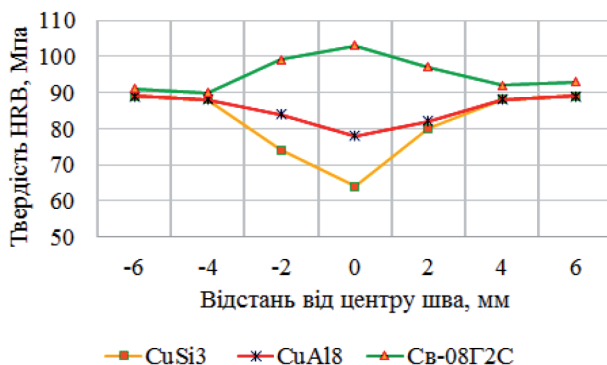


Рис. 6. Графіки розподілу твердості в перерізі з'єднань

Графіки розподілу твердості в перерізі зварних та паяних з'єднань, підтверджують закономірність механічних властивостей швів, виконаних дуговим паянням та зварюванням різними присадковими матеріалами.

Емпіричні залежності між твердістю металу та його механічними характеристиками, а саме межею міцності та межею текучості, експериментально досліджувались та відображені в роботі [10]. На основі цих досліджень було розроблено методи визначення механічних властивостей матеріалів за їх твердістю.

Залежність між межею міцності металу та його твердістю запропонована Брінеллем та має вигляд:

$$\sigma_B = k \cdot HB, \quad (1)$$

де HB – твердість матеріалу за шкалою Брінелля, МПа; k – коефіцієнт пропорційності, який рівний 0,346.

За числом твердості також можна визначити орієнтовну межу текучості:

– для величин твердості $HB \geq 1500$ МПа:

$$\sigma_T = 0,367 \cdot HB - 240; \quad (2)$$

– для величин твердості $HB < 1500$ МПа:

$$\sigma_T = 0,2 \cdot HB. \quad (3)$$

За результатами вимірювання твердості в перерізі з'єднань було проведено розрахунки межі міцності та межі текучості металу шва та основного металу, зварних і паяних з'єднань. Результати механічних випробувань та розрахунків показників міцності наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Результати механічних характеристик зварних та паяних з'єднань

| № зразка | Матеріал | Зусилля розриву, кН | Видовження після розриву, мм | Кут загину, град | Розрахункові значення | |
|----------|----------------|---------------------|------------------------------|------------------|-----------------------|------------------|
| | | | | | σ_B , МПа | σ_T , МПа |
| 1 | CuSi3 | 23,1 | 2 | 10 | 385 | 170 |
| 2 | CuAl8 | 26,2 | 6 | 90 | 486 | 277 |
| 3 | Св-08Г2С | 27,7 | 6 | 140 | 652 | 454 |
| 4 | Основний метал | 28 | 6,5 | 150 | 622 | 421 |

При визначенні механічних характеристик труб ПМТП-150, виконаних методом дугового паяння дротами CuSi3 та CuAl8, встановлено залежність зусилля розриву з'єднань, від марки присадкового дроту. Формування міцного паяного шва здійснюється за рахунок необхідного рівня дифузійних процесів на міжфазній границі взаємодії рідкого припою та основного металу, адгезії припою на поверхні основного металу [11]. А саме ширини дифузійного шару, яка в значній мірі залежить від термічного циклу. Тому міцність паяних з'єднань буде в основному залежати від характеристик міцності присадкового матеріалу.

При дуговому MIG/MAG зварюванні, дротом Св-08Г2С термічний вплив є більшим ніж при дуговому паянні тому руйнування зразка відбулось по межі зони термічного впливу та основного металу.

Аналізуючи діаграми розтягу зразків бачимо що зусилля розтягу паяного з'єднання, виконаного дротом CuAl8, є тільки на 6 % меншим від зусилля розтягу зварного з'єднання, що свідчить про достатню високу міцність даного з'єднання. Це підтверджується також графіками розподілу твердості в перерізі з'єднань. Характеризуючи міцність, за показниками твердості (рис. 6), бачимо що міцність паяного шва, дротом CuAl8, складає 80 % міцності основного металу.

7. SWOT-аналіз результатів досліджень

Проведені дослідження підтверджують можливість застосування методу дугового паяння, дротом CuAl8, для приєднання манжетів та розтрубів до труб, при виготовленні та ремонті польових магістральних трубопроводів. Даний метод може бути альтернативою дуговому MIG/MAG зварюванню, забезпечуючи достатню міцність з'єднань, та збереження захисного цинкового покриття в місці з'єднання, за рахунок значно меншого теплового впливу.

Використання зварювальних напівавтоматів з синергетичним керуванням, для дугового паяння, не потребує великих затрат на переобладнання виробництва.

Польові магістральні трубопроводи експлуатуються під впливом таких факторів як внутрішній тиск, температура, статичні та динамічні навантаження, а також атмосферний вплив. Тому при розробці технології виготовлення та ремонту труб потрібно також провести ряд випробувань, з врахуванням вище перерахованих факторів, у вигляді зовнішніх навантажень.

Для визначення доцільності застосування дугового паяння, необхідно провести комплексні дослідження властивостей з'єднань та їх поведінки при різних навантаженнях, які є найбільш близькими до умов експлуатації, що може стати перспективним напрямком подальших досліджень.

8. Висновки

У результаті проведених досліджень було встановлено:

1. Міцність паяного з'єднання, дротом CuAl8, є на 6 % меншим за міцність зварного з'єднання, що є цілком прийнятним.

2. Застосування технології дугового паяння, дротом CuAl8, для виготовлення та ремонту збірно-розбірних трубопроводів, дозволяє зберегти захисне цинкове покриття в місці з'єднання, забезпечивши міцність з'єднання, а також скоротити час, зменшити трудові та матеріальні затрати, так як непотрібно проводити операції зачищення та відновлення цинкового покриття перед, та після зварювання.

Література

- Rozalski, M. MIG/MAG braze-welding of galvanised steel sheets and examples of difficult to weld systems [Text] / M. Rozalski, W. Gawrysiuk // Welding International. — 2008. — Vol. 22, № 4. — P. 239–244. doi:10.1080/09507110802117693
- Miao, Y. Effect of Heat Input on Microstructure and Mechanical Properties of Joints Made by Bypass-Current MIG Welding-Brazing of Magnesium Alloy to Galvanized Steel [Text] / Y. Miao,

B. Wu, X. Xu, D. Han // Acta Metallurgica Sinica (English Letters). — 2014. — Vol. 27, № 6. — P. 1038–1045. doi:10.1007/s40195-014-0118-3

- Makwana, P. Gas metal arc brazing of galvanized steel sheets [Text] / P. Makwana, M. Shome, S.-F. Goecke, A. De // Science and Technology of Welding and Joining. — 2016. — P. 1–7. doi:10.1080/13621718.2016.1145420
- Varol, F. Investigation of Mechanical Properties of MIG-Brazed TRIP 800 Steel Joints Using Different Working Angles [Text] / F. Varol, M. Ekici, E. Ferik, U. Ozsarac, S. Aslanlar // Acta Physica Polonica A. — 2015. — Vol. 127, № 4. — P. 965–967. doi:10.12693/aphyspola.127.965
- Magda, A. V. Corrosion Resistance Testing of the Galvanized Sheet Metal Braze Welding Joints [Text] / A. V. Magda, C. Codrean // Key Engineering Materials. — 2014. — Vol. 627. — P. 189–192. doi:10.4028/www.scientific.net/kem.627.189
- Magda, A. Possibilities of joining galvanized sheet steel using the CMT method (cold metal transfer) [Text] / A. Magda, M. Popescu, C. Codrean, E. G. Mocuta // Welding International. — 2013. — Vol. 27, № 9. — P. 665–667. doi:10.1080/09507116.2011.606137
- Цумарев, Ю. А. Влияние подготовки кромок на повреждаемость защитного покрытия при дуговой пайке оцинкованной стали [Текст] / Ю. А. Цумарев, В. К. Шелег // Вестник Полоцкого государственного университета. — 2010. — № 2. — С. 124–129.
- Rykała, J. Influence of the technological conditions of welding using the MIG/MAG method on metal transfer in the welding arc [Text] / J. Rykała, T. Pfeifer // Welding International. — 2013. — Vol. 28, № 12. — P. 931–940. doi:10.1080/09507116.2012.753233
- MIG/MAG источники питания [Электронный ресурс] // FRONIUS УКРАИНА. — Режим доступа: \www/URL: http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/SID-DD82EC17-570044F3/fronius_ukraine/hs.xsl/2510_2787.htm#_VqVBilkTBC1
- Стоев, П. И. Определение механических свойств металлов и сплавов по твердости [Текст] / П. И. Стоев, В. И. Мощенюк // Вестник Харьковского научного университета им. Каразина. — 2003. — № 2. — С. 106–112.
- Зворыкина, А. К. Особенности дуговой пайки тонколистовой оцинкованной стали [Электронный ресурс] / А. К. Зворыкина, Н. М. Стреленко // Технологические системы. — 2014. — № 4. — С. 42–45. — Режим доступа: \www/URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ts_2014_4_6

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И РЕМОНТА СБОРНО-РАЗБОРНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Исследовано прочность сварных и паяных соединений, оцинкованных труб, сборно-разборных полевых магистральных трубопроводов. Установлено, что соединения, сделанные способом дуговой пайки, присадочной проволокой CuAl8, владеют достаточной прочностью. За счет малого теплового влияния, при дуговой пайке, не происходит разрушение защитного цинкового покрытия в месте соединения.

Ключевые слова: дуговая пайка, цинковые покрытия, паяный шов, механические испытания, прочность соединения, усилие растяжения.

Матвієнків Олег Михайлович, асистент, кафедра зварювання конструкцій та відновлення деталей машин, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Україна, e-mail: olegmatvienkiv@gmail.com.

Матвієнків Олег Михайлович, асистент, кафедра сварки конструкцій та відновлення деталей машин, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Україна.

Matvienkiv Oleh, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ukraine, e-mail: olegmatvienkiv@gmail.com