

DOI 10.32820/2079-1747-2019-23-107-114

УДК 621.791.92

**СПОСІБ КРІПЛЕННЯ ТРУБ ДО ТОНКОЇ ТРУБНОЇ
РЕШІТКИ КОЖУХОТРУБЧАТОГО ТЕПЛОБМІННИКА**

©Дерябкіна Є.С.

*Українська інженерно-педагогічна академія***Інформація про авторів:**

Дерябкіна Євгенія Станіславівна: ORCID: 0000-0002-5531-0124, itmzv@uipa.edu.ua, кандидат технічних наук, доцент кафедри інтегрованих технологій в машинобудуванні і зварювального виробництва, Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

Проведено аналіз конструктивних особливостей і способів кріплення труб до трубних решіток кожухотрубчатих теплообмінників. Досліджені переваги використання стикового зварного з'єднання торця труби з торцем відбортованого отвору тонкої трубної решітки. При цьому підвищуються вимоги до точності відбортовки для забезпечення строгої совісності і перпендикулярності торця до вісі труби. Розраховані розміри відбортовки отворів під труби діаметром 38×2 мм, діаметр отворів і шаг розташування їх на трубній решітці зі сталі 12X18H10T товщиною 2-3 мм і діаметром 1000 мм.

Розроблено принципову схему установки і зварювального пальника для автоматичного зварювання труб устик з відбортованими отворами в трубних решітках. Відпрацьовано технологію одержання якісного стикового з'єднання труби з тонкою трубною решіткою з використанням аргонодугового зварювання електродом, що не плавиться, без присадки. Приведені параметри режиму зварювання, що забезпечують задовільне формування зварного шва.

У результаті проведених досліджень встановлена принципова можливість одержання якісного стикового зварного з'єднання труби з відбортовкою отворів аргонодуговим зварюванням електродом, що не плавиться, використання якого дозволить підвищити якість приварювання і можливість контролю зварних з'єднань, зменшити на 20 мм довжину труби і, відповідно, металоемність кожухотрубчатих теплообмінників.

Ключові слова: тонка трубна решітка, відбортовка отворів, стикове з'єднання, автоматичне зварювання в аргоні, електрод, що не плавиться, межа міцності, сталь 12X18H10T.

Дерябкіна Е.С. «Способ соединения труб с тонкой трубной решеткой кожухотрубчатого теплообменника».

Проведен анализ конструктивных особенностей и способов крепления труб к трубным решеткам кожухотрубчатых теплообменников. Исследованы преимущества использования стыкового сварного соединения торца трубы с торцом отбортованного отверстия тонкой трубной решетки. При этом повышаются требования к точности отбортовки для обеспечения строгой соостности и перпендикулярности торца к оси трубы. Рассчитанны размеры отбортовки отверстий под трубы диаметром 38×2 мм, диаметр отверстий и шаг расположения их на трубной решетке из стали 12X18H10T толщиной 2-3 мм и диаметром 1000 мм.

Разработана принципиальная схема установки и сварочной горелки для автоматической сварки труб встик с отбортованными отверстиями в трубных решетках. Отработана технология получения качественного стыкового соединения трубы с тонкой трубной решеткой с использованием аргонодуговой сварки неплавящимся электродом без присадки. Приведены параметры режима сварки, обеспечивающие требуемое формирование сварного шва.

В результате проведенных исследований установлена принципиальная возможность получения качественного стыкового сварного соединения трубы с отбортовкой отверстий аргонодуговой сварки неплавящимся, использование которого позволит повысить качество приварки и возможность контроля сварных соединений, уменьшить на 20 мм длину трубы и, соответственно, металлоемкость кожухотрубчатые теплообменников.

Ключевые слова: тонкая трубная решетка, отбортовка отверстий, стыковое соединение, сварка в аргоне, неплавящийся электрод, предел прочности, сталь 12X18H10T.

Deryabkina E. «The method of connecting pipes with a thin tube sheet of a shell-and-tube heat exchanger».

The analysis of methods of fastening of pipes in a thin tube grid of shell and tube-type heat exchangers is carried out and the choice of joints of welded joints of pipes with deflection holes of thin pipe grating is substantiated. Calculated dimensions of holes, diameter drilling and the pitch of their placement on a pipe grid.

The optimal diameter of the drill holes for the trowel is 25 mm, which ensures that there are no cracks and burrs when the holes are $\varnothing 38$ mm. The technique of obtaining a qualitative butt joint of a pipe with a thin pipe grid of steel 12X18H10T with the use of argon-arc welding with a non-melted electrode, without the addition of the automation of the welding process is worked out.

The basic scheme of installation and a welding torch for automatic welding of pipes with a broken openings in pipe grids is developed. For pipe connection of steel 12X18H10T with a wall thickness of 2 mm, the satisfactory formation of the seam is established at a welding current of 75-95 A, the voltage of the arc 18-19 V and welding speed 12,0-13,0 m / g, the consumption of argon is 10- 12 l / min

Properties of discharge and butt joints of tubes with a tubular lattice have been investigated, on the basis of which analysis it was established that: the maximum strength of the weld seam of a pipe with a thin tubular lattice is ensured when jointed and connected to the V-shaped bevel edges; in the zone of thermal impact of the butt weld compound an increase in grain is observed up to 9 points (against 11 points in the main steel of steel 12X18H10T); a brittle brewing of the thickness of the metal and a satisfactory formation of the joints is provided when welding with a tungsten electrode that does not melt in two passages.

As a result of the carried out researches it is established the principle possibility of obtaining a qualitative butt weld joint of the pipe with annealing openings with argon arc welding with non-melted electrode, the use of which will improve the quality of welding and the ability to control

welded joints, reduce the length of the pipe by 20 mm and, accordingly, metal thickness of shell and tube heat exchangers.

Key words: thin tube sheet, flanging of holes, butt joint, welding in argon, non-consumable electrode, tensile strength, steel 12X18H10T.

1. Актуальність.

На заводах хімічного машинобудування при виготовленні кожухотрубчатих теплообмінників в основному застосовуються товсті трубні решітки. З 2000 р. одночасно з товстими, застосовуються тонкі трубні решітки [1,2,7] товщиною 2,5 мм, з нержавіючих хромонікелевих сталей типу 12X18H10T, для випарних апаратів діаметром до 1000 мм із отвором під трубу 38 мм, у яких труби вводяться у відбортовані отвори й закріплюються нахлесточними зварними з'єднаннями, що виконуються ручним дуговим зварюванням. Застосовувана конструкція нахлесточного зварного з'єднання труби з тонкими решітками не дозволяє здійснювати контроль якості зварного шва, а зазор між трубою і отвором створює умови для виникнення щілинної корозії. З'єднання труби із решітками може бути позбавлено цих недоліків у тому випадку, якщо торець відбортованого отвору буде з'єднаний у стик з торцем труби [4]. Впровадження результатів розробок дозволить підвищити надійність роботи трубного пучка кожухотрубчатого теплообмінника при зниженні металоємкості і собівартості його виготовлення.

2. Постановка проблеми.

Велика кількість конструктивно-технологічних рішень по зварюванню труб з трубними решітками в теплообмінних апаратах поставила цю проблему в число дискусійних. Численні роботи, що з'явилися, особливо в останні роки, дають в основному приватні рішення, які не завжди можуть бути успішно застосовні [1-6]. Тому дослідження впливу різних технологічних рішень зварювання на величину залишкової напруги в зварних швах, на зміну механічних властивостей і структури в зонах зварних з'єднань; розробка практичних рекомендацій для вдосконалення технології виготовлення зварного вузла "труба - трубні решітки" є актуальними.

В [4] визначено, що вибір типу з'єднання і способу зварювання грає вирішальну роль у підвищенні герметичності і надійності труба-трубна дошка теплообмінника, запропоновано використання зварного з'єднання без канавок і попереднього розвальцювання отворів.

Доведено, що використання процесу лазерного зварювання у сполученні з роботизованим комплексом для виготовлення теплообмінних апаратів забезпечує практичне виключення деформацій, позитивний економічний ефект та їх високу конкурентоздатність [3].

Виконання зварювання труб устик з отворами в решітках ручним зварюванням практично утруднене, тому необхідно використовувати автоматичне зварювання. Конструкція стикового з'єднання з відбортованими отворами у тонких трубних решітках не одержала широкого застосування через відсутність технології виготовлення відбортованих отворів у тонких трубних решітках, технології і оснащення для складання теплообмінників із трубами,

привареними устик, через відсутність зварювального устаткування для автоматичного приварювання труб до решіток [6].

Метою досліджень є удосконалення технології приварювання відбортовки отворів в тонкій трубній решітці теплообмінника до труб з заміною кутового з'єднання на стикове, що дозволить підвищити якість зварного з'єднання, знизити трудомісткість і матеріалоемність.

3.Основной материал.

З метою порівняння властивостей зварних з'єднань труби з тонкими трубними решітками, дослідженню піддавалися зразки з різними конструктивними елементами зварного з'єднання з відбортовкою отвору (рис. 1): без виступання труби під відбортовку (а); з виступанням труби на 2-3 мм під відбортовку (б); стикове з'єднання труби з відбортовкою труби (в).

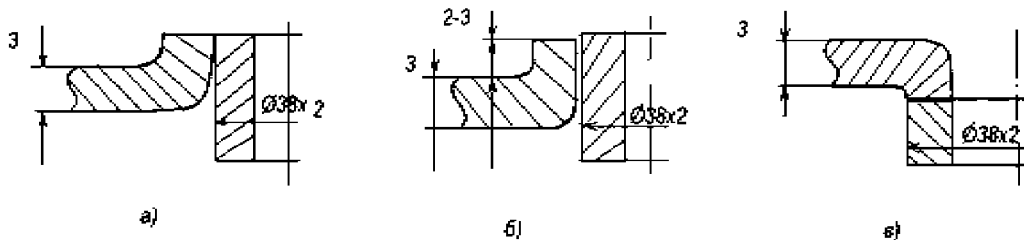


Рис. 1 - Типи з'єднання труби з відбортовкою отворів в тонких трубних решітках.

Зварювання виконувалося в аргоні вручну вольфрамовим електродом, що не плавиться, діаметром 0,3 мм й електродом, що плавиться, діаметром 1,2 мм на постійному струмі прямої полярності. Якість швів зварних з'єднань оцінювалося зовнішнім оглядом, вимірами і металографічними дослідженнями поперечних перерізів, за результатами механічних випробувань. Контролювалися геометричні розміри зварних швів, наявність пор, підрізів, якість захисту. Мікроструктура зварних з'єднань труба - тонкі трубні грати досліджувалися на мікроскопі ММ - 7 при збільшенні $\times 120$. Шліфи зі сталі 12Х18Н10Т травили електролітично в 10% - вому водному розчині щавлевої кислоти. Бал зерна визначали за ГОСТ 5639-82.

Для виготовлення зразків зварного з'єднання труби устик з відбортованим отвором у решітках прийнята конструкція зразка з одним отвором (рис. 2).

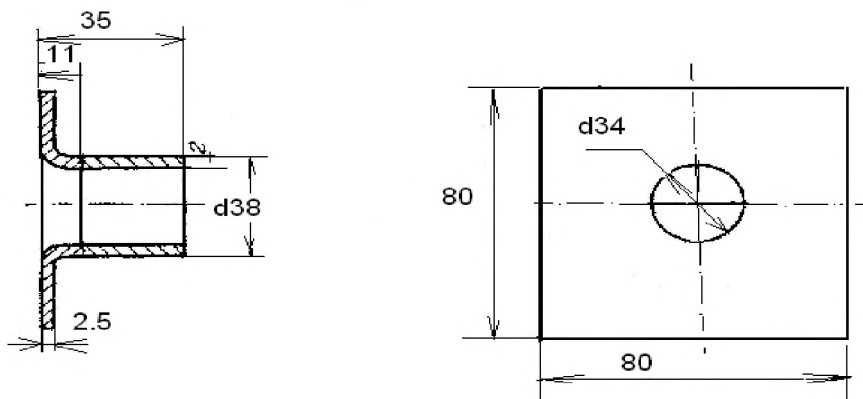


Рис. 2- Зразки для досліджень стикового зварного з'єднання труби з тонкими решітками.

Аналіз отриманих результатів (табл.1) свідчить, що при стиковому з'єднанні труби з відбортовкою отвору трубних решіток забезпечується достатньо висока межа міцності, величина якої перевищує межу міцності кріплення труби в товстих трубних решітках і дорівнює міцності з'єднання, виконаному при виступанні труби над відбортовкою 2-3 мм. Передбачалося одержати максимальну висоту відбортованої частини отвору при високій якості торця - відбортовки.

Таблиця 1 - Результати випробування дослідних зразків

Спосіб аргонодугового зварювання, присадочний матеріал	Площа поперечного перетину шва, мм ²	Зусилля, яке руйнує, кгс	Межа міцності, кгс/мм ²	Прогин трубних ґрат, мм
Напівавтоматичне електродом, що плавиться, Св - 07Х18Н10Б ø 1,2	131	7720	59,1	0,26
Автоматичне електродом, що не плав., без присадки	137	8550	63,4	0
Напівавтоматичне електродом, що плавиться, Св - 07Х18Н10Б ø 1,2	162	9850	60,8	0,30
Ручне електродом, що не плав., без присадки,	120	6840	57,0	0,23
Напівавтоматичне електродом, що плавиться Св - 07Х18Н10Б ø 1,2	126	7600	60,3	0,21
Автоматичне електродом, що не плав., без присадки	145	9630	66,2	0,21
Автоматичне електродом, що не плав., без присадки	159	10300	65,2	0,20

Діаметр свердлування отвору в решітках під відбортовку розраховується по формулі:

$$d = 48 - 2(AB + BC + CD), \text{ мм} \quad (1)$$

$$\text{де } AB = \frac{6,26 \cdot 4 \cdot 95 \cdot 75}{360} \cdot 6,48; \quad BC = \frac{CK}{\sin 15^\circ}; \quad CD = 5,75 - B.$$

$$BC = 4,95 \cdot \cos 15^\circ = 4,95 \cdot 0,966 = 4,75; \quad CD = 5,75 - 4,78 = 0,97; \quad BC = \frac{0,97}{0,259} = 3,75$$

$$d = 48 - 2 \cdot (6,48 + 3,75 + 2,0) = 23,54 \text{ мм}$$

Висота відбортованої частини отвору:

$$H = 2,0 + KB + OA + 2,25, \text{ мм} \quad (2)$$

$$\text{де } KB = 0,97 \cdot \operatorname{ctg} 15^\circ = 0,97 \cdot 3,73 = 3,62; \quad OA = 4,95 - OM = 4,95 - 4,95 \cdot \sin 15^\circ = 3,67.$$

$$H = 2,0 + 3,62 + 3,67 + 1,25 = 10,54 \text{ мм}$$

Форма перетину і висота відбортовки наведена на рис. 3. Розрахунок показав, що при діаметрі свердлування отвору під відбортовку 23,54 мм висота відбортовки буде дорівнювати 10,54 мм. При цьому не враховується величина можливої витяжки металу. Після

ля проведення експериментів, при яких враховувалася якість відбортованого торця отвору приймаємо діаметр свердлування отвору під відбортовку равним 25 мм. Розраблена схема установки для автоматичного зварювання труб встик з відбортованими отворами в решітках (рис.3), що містить пристрій для електродугового внутрішнього приварювання труб до трубних решіток з пальником для аргонодугового зварювання неплавящимся електродом, механізм кругового переміщення пальника й системи ковзного підведення струму й захисного газу.

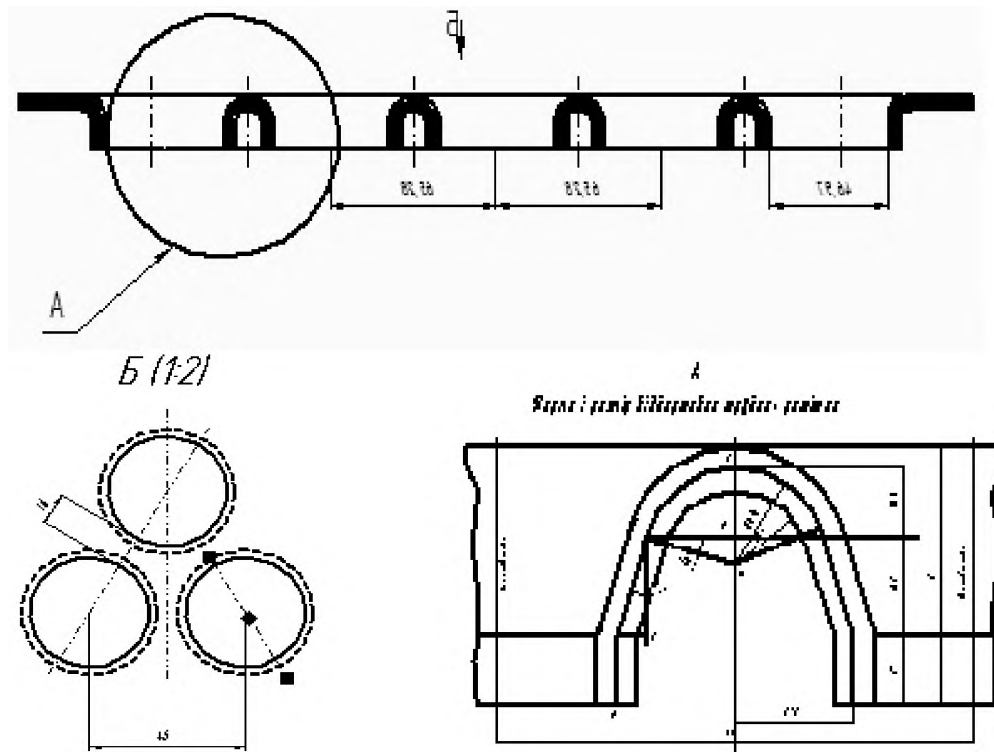
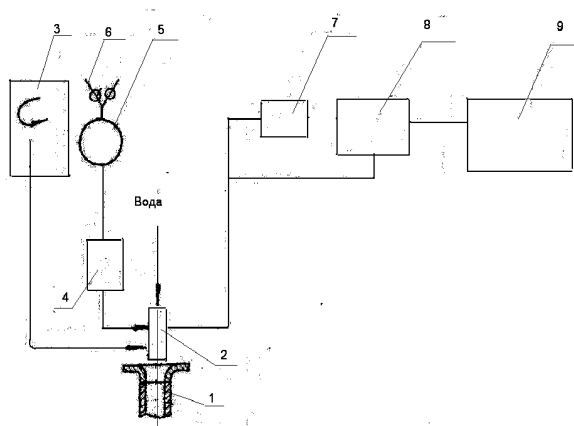


Рис. 3 – Форма і розміри відбортовки трубної решітки.



Для підвищення продуктивності і якості електрод такого пристрою виконаний у вигляді вигнутого під прямим кутом стрижня, закріпленого в пальнику цанговим затискачем (рис.4).

Рис.4 - Схема установки для автоматичного зварювання труб встик з відбортованими отворами в решітках.

1 - трубне з'єднання; 2-зварювальний пальник для аргонодугового зварювання; 3-механізм обертання зварювального пальника; 3-газовий клапан; 4-газовий балон з аргоном;5-редуктор;6-осцилятор; 7-баластовий реостат; 8-джерело живлення

Для зварювання тонколистових матеріалів У якості електрода або його робочої ділянки застосовувано вольфрамовий дріт малого діаметра, розроблені спеціальні пальники і електрод (табл.3). Якісне формування шва встановлене при зварювальному струмі $I_{зв}=75$ А, $U_{зв}=11$ В и швидкості зварювання 11,0-12,0 м/г. Витрата аргону в пальнику при цьому становить 8-40 л/хв і забезпечує задовільний захист зварювальної ванни. Висота валика зворотної сторони шва 0,5 - 1 мм. Ослаблення висоти шва з боку зварювання становить 0,2 - 0,4 мм. Одержання висоти зварного шва урівень з товщиною стінки забезпечується при зварюванні в 2 проходи.

Таблиця 2 - Характеристика пальника і електроду

Об'єкт досліджень	Діаметр електродного дроту, мм	Число дротів*	Струм, А	Щільність струму*, А/мм ²
Пальник	0,16	-	1-6	300
	0,30	-	2-15	215
Багатодротовий електрод	0,30	2	6- 25	180
	0,30	4	10-50	180

* На робочій ділянці електроду.

Висновки.

Виконано аналіз способів кріплення труб у тонкій трубній решітці кожухотрубчатих теплообмінників і обгрунтовано вибір стикового зварного з'єднання труб з відбортовкою отворів тонкої трубної решітки. Розраховані розміри відбортовки отворів, діаметр свердлування і шаг їх розміщення на трубній решітці.

Оптимальний діаметр свердлування отворів під відбортовку дорівнює 25 мм, що забезпечує відсутність тріщин і заусенців при відбортовці отворів $\varnothing 38$ мм. Відпрацьовано технологію одержання якісного стикового з'єднання труби з тонкою трубною решіткою зі сталі 12X18H10T с використанням аргонодугового зварювання електродом, що не плавиться, без присадки при автоматизації процесу зварювання.

Розроблено принципову схему установки і зварювального пальника для автоматичного зварювання труб встик з відбортованими отворами в трубних решітках. Для трубного з'єднання зі сталі 12X18H10T з товщиною стінки 2 мм задовільне формування шва встановлене при зварювальному струмі 75-95 А, напрузі дуги 18-19 В і швидкості зварювання 12,0-13,0 м/г, витраті аргону - 10-12 л/хв.

Досліджені властивості напускних і стикових з'єднань труб з трубною решіткою, на основі аналізу яких встановлено, що:

- максимальна міцність зварного шва труби з тонкою трубною решіткою забезпечується при стиковому з'єднанні і з'єднанні з V- образним скосом кромки;
- у зоні термічного впливу стикового зварного з'єднання спостерігається збільшення зерна до 9 балів (проти 11 балів в основному металі сталі 12X18H10T);
- крихкий провар товщини металу і задовільне формування стикового шва забезпечується при зварюванні вольфрамовим електродом, що не плавиться у два проходи.

У результаті проведених досліджень встановлена принципова можливість одержання якісного стикового зварного з'єднання труби з відбортовкою отворів аргонодуговим зварюванням електродом, що не плавиться, використання якого дозволить підвищити якість приварювання і можливість контролю зварних з'єднань, зменшити на 20 мм довжину труби і, відповідно, металоемність кожухотрубчатих теплообмінників.

Список використаних джерел:

1. Орлик Г. В. Совершенствование технологии сварки теплообменных аппаратов / Г. В. Орлик, А. Г. Орлик, А. Ю. Сапожников // Альманах современной науки и образования. – 2016. – № 12 (114). – С.71-74.
2. Нефтяная и газовая промышленность. Кожухотрубчатые теплообменники. Технические требования : ГОСТ Р 53677-2009. – [Введ. в действие 01.01.2011]. – М. : Стандартинформ. – 33 с.
3. Москвитин Г. В. Применение методов лазерной сварки в современном промышленном производстве / Г. В. Москвитин, А. Н. Поляков, Е. М. Биргер // Сварочное производство. – 2012. – № 6. – С. 36-47.
4. Тукаев Р. Ф. Сравнительный анализ сварных швов в узле «труба – трубная решетка» кожухотрубчатого теплообменного аппарата из жаропрочной стали 15Х5М, полученных различными способами сварки [Электронный ресурс] / Р. Ф. Тукаев [и др.] // Нефтегазовое дело : электронный научный журнал. – 2013. – № 5. – Режим доступа : http://ogbus.ru/authors/TukaevRF/TukaevRF_1.pdf.
5. Vänskä M. P. Implementing the Modern Fiber Laser Technology for Welding of Stainless Tubular Products: Master's Thesis / M. P. Vänskä. – Lappeenranta : Lappeenranta University of Technology, 2009. – С. 26-41.
6. Лащинский А. А. Конструирование сварных химических аппаратов: справочник / А. А. Лащинский. – Л. : Машиностроение, Ленинградское отд-е., 1991. – 382 с.

References

1. Orlik, GV, Orlik, AG & Sapozhnikov, AJu 2016, 'Sovershenstvovanie tehnologii svarki teploobmennyyh apparatov', Almanah sovremennoj nauki i obrazovanija, no. 12 (114), pp.71-74.
2. Standartinform 2009, Neftjanaja i gazovaja promyshlennost. Kozhuhotrubchatye teploobmenniki. Tehnicheskie trebovanija, GOST R 53677-2009, Standartinform, Moskva.
3. Moskvitin, GV, Poljakov, AN & Birger, EM 2012, 'Primenenie metodov lazernoj svarki v sovremennom promyshlennom proizvodstve', Svarochnoe proizvodstvo, no. 6, pp. 36-47.
4. Tukaev, RF, Ibragimov, I, Fayrushin, A & Sisanbaev, A 2013, 'Sravnitelnyj analiz svarnyh shvov v uzle «truba – trubnaja reshetka» kozhuhotrubчатого teploobmennogo apparata iz zharoprochnoj stali 15H5M, poluchennyh razlichnymi sposobami svarki', Neftegazovoe delo, no. 5, viewed 5 May 2019, <http://ogbus.ru/authors/TukaevRF/TukaevRF_1.pdf>.
5. Vänskä, MP 2009, Implementing the Modern Fiber Laser Technology for Welding of Stainless Tubular Products: Master's Thesis, Lappeenranta University of Technology, Lappeenranta, pp. 26-41.
6. Lashhinskij, AA 1991, Konstruirovanie svarnyh himicheskikh apparatov, Mashinostroenie, Leningradskoe otделение, Leningrad.

Стаття надійшла до редакції 6 травня 2019 р.