

Технология и технологические машины

УДК 621.791

Технологии автоматической орбитальной сварки трубопроводов малого диаметра из углеродистых и низколегированных сталей

Е.С. Третьяков, Н.В. Коберник

Сварка трубопроводов малого диаметра из углеродистых и низколегированных сталей крайне востребована в различных областях промышленности. Однако научной литературы, охватывающей все способы сварки таких трубопроводов, практически не существует. В данной статье проанализирована имеющаяся литература, а также собственные разработки авторов. Обзор показал, что наиболее распространены технологии сварки неплавящимся электродом в инертных газах. Представлены и структурированы основные моменты технологии сварки неплавящимся электродом в инертных газах, а также пути развития сварки трубопроводов малого диаметра из углеродистых и низколегированных сталей.

Ключевые слова: автоматическая сварка трубопроводов, сварка неплавящимся электродом, орбитальная сварка, трубопроводы малого диаметра.

Technology of Automatic Orbital Welding of Small Diameter Pipelines of Carbon and Low-alloy Steels

E.S. Tretyakov, N.V. Kobernik

Welding of small diameter pipelines of carbon and low-alloy steels is in great demand in various industries. However, the scientific literature covering all welding methods of said pipelines practically does not exist. The article analyzes the existing literature, as well as the own developments of the authors. The



ТРЕТЬЯКОВ
Евгений Сергеевич
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

TRETYAKOV
Evgeny Sergeevich
(Moscow, Russian Federation,
Bauman Moscow State
Technical University)



КОБЕРНИК
Николай Владимирович
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

KOBERNIK
Nikolay Vladimirovich
(Moscow, Russian Federation,
Bauman Moscow State
Technical University)

review found that technologies of non-consumable electrode welding in inert gases are the most common. The article presents the main points of a non-consumable electrode welding in inert gases and the ways of future development of small diameter pipe welding of carbon and low-alloy steels.

Keywords: automatic pipe welding, non-consumable electrode welding, orbital welding, small diameter pipelines.

В настоящее время сварка трубопроводов малого диаметра ($DN (D_v) = 20 \dots 200$, $S < 15$ мм) из углеродистых и низколегированных сталей крайне востребована. Такие трубопроводы применяются в различных областях: в нефтяной промышленности, газовой промышленности, электроэнергетике, жилищно-коммунальном хозяйстве и др. С точки зрения повышения производительности и воспроизводимости качества сварки следует применять автоматические технологии [1–3]. Наиболее подходящими для реализации данной задачи способами сварки являются: автоматическая сварка плавящимся электродом в среде защитных газов, автоматическая сварка неплавящимся электродом в среде инертных газов, а также автоматическая плазменная сварка.

Автоматическая сварка плавящимся электродом в среде защитных газов, несмотря на свои очевидные преимущества (в первую очередь, производительность), применяется крайне ограниченно, в основном для трубопроводов с условными диаметрами ($DN (D_v)$) более 100 мм [4]. Это обусловлено тем, что большая часть трубопроводов малого диаметра сваривается в стесненных условиях, а автоматы для сварки плавящимся электродом в среде защитных газов обладают достаточно большими габаритами.

Автоматическая плазменная сварка в настоящее время имеет ограниченное применение не только при сварке трубопроводов малого диаметра, но и в промышленности в целом. Несмотря на это в работах [5–7] показана возможность успешного использования технологий плазменной сварки трубопроводов малого диаметра как в нашей стране, так и за рубежом. Стоит отметить перспективность данных технологий ввиду значительного увеличения про-

изводительности технологических операций сборки и сварки за счет возможности сварки больших толщин (ориентировочно до 12 мм [6]) за один проход без разделки кромок.

Автоматическая сварка неплавящимся электродом в среде инертных газов на сегодняшний день получила наиболее широкое применение для сварки трубопроводов малого диаметра благодаря универсальности и удовлетворительной производительности процесса. Для этого способа сварки разработано большое количество компактных автоматов различной конструкции, а также разнообразных технологий сварки.

Автоматы для автоматической орбитальной сварки неплавящимся электродом в среде инертных газов трубопроводов малого диаметра выпускаются в большом объеме. Все они представляют собой малогабаритные сварочные головки, которые условно можно классифицировать на две категории: головки закрытого типа — для труб с толщинами стенок $S \leq 3$ мм и головки открытого типа, адаптированные под любые задачи сварки трубопроводов малого диаметра [8, 9].

С технологиями сварки не все так однозначно ввиду разных подходов различных производителей и отраслей. В настоящее время крайне подробно проработаны автоматические орбитальные технологии сварки неплавящимся электродом в инертных газах сталей аустенитного класса благодаря их обширному использованию в динамично-развивающейся в XX веке атомной энергетике. Детально они приведены в большом количестве работ, например в [6, 8, 10, 11, 12], однако их использование для сварки углеродистых и низколегированных сталей, в большинстве своем, невозможно ввиду различных свойств сталей аустенитного и перлитного классов. В данной статье приведен обзор существующих технологий автоматической орбитальной сварки неплавящимся электродом углеродистых и низколегированных сталей.

Общие положения технологий. Сварку трубопроводов малого диаметра с толщиной стенки $S \leq 3$ мм можно производить без разделки кромок и без подачи присадочного материала за

один проход головками как открытого, так и закрытого типов. Такая технология прекрасно подходит для сварки низколегированных и других сталей, обладающих высокой степенью раскисленности. Однако для сварки углеродистых сталей это неприменимо ввиду известной проблемы «кипения» сварочной ванны из-за остаточного кислорода и его соединений в основном металле [4, 12]. Решить данную проблему можно путем применения присадочной проволоки с раскисляющими легирующими компонентами такими, как марганец и кремний, а также использованием флюс-паст. На практике наиболее широкое применение нашла присадочная проволока, так как флюс-пасты, несмотря на свое преимущество (увеличение производительности за один проход), имеют существенный недостаток — при их неравномерном нанесении, особенно сложноосуществимом в монтажных условиях, неизбежно и непредсказуемо будет нарушена стабильность геометрических параметров шва.

Сварку трубопроводов малого диаметра с толщиной стенки $S > 3$ мм производят головками открытого типа с разделкой кромок, используя присадочную проволоку и поперечные колебания горелки. При толщине стенки $S = 3...5$ мм сварку выполняют в два слоя (корневой и облицовочный слой), а при $S \geq 5$ мм — в три и более слоев (корневой, заполняющие и облицовочный слой).

Также, как общую особенность всех технологий, необходимо отметить тот факт, что швы, выполненные в различных пространственных положениях, характеризуются большой разницей геометрических параметров. Ввиду этого автоматическая сварка производится с четким и точным подбором, а затем программированием режима сварки для различных секторов трубы.

Однако, как отмечалось выше, технологии, предлагаемые различными отраслями и производителями, имеют существенные различия, которые условно можно разделить на две группы:

- 1) различия в подготовке кромок под сварку;
- 2) различия в технике (режиме) выполнения корневого слоя.

Подготовка кромок под сварку. Подготовка кромок под автоматическую сварку — крайне критичная операция, от которой зависят как технологические, так и экономические аспекты сварочного процесса. В связи с этим выбор наиболее рациональной разделки кромок является важной задачей при сборочно-сварочных работах. Как правило, разделка кромок, ввиду высоких требований технологии, производится специальными автоматическими станками — труборезами.

Сварку трубопроводов с толщиной стенки $S \leq 3$ мм возможно выполнять без разделки кромок. Однако необходимость подачи присадочной проволоки при сварке углеродистых сталей негативно сказывается на качестве формирования геометрии шва (высота усиления, глубина проплавления, переход металла шва к основному металлу) [13, 14]. Ввиду этого зачастую выполняют V-образную или U-образную разделку кромок.

Типичная V-образная разделка кромок под автоматическую сварку трубопроводов с толщиной стенки $S \leq 3$ мм представлена на рис. 1. Ее характерной особенностью является заниженное притупление кромок (до 1 мм), которое позволяет уменьшить вероятность появления непровара корня шва ввиду возможного блуждания дуги (рис. 2).

U-образная разделка кромок (рис. 3) применяется под автоматическую сварку трубопроводов с толщиной стенки $S > 3$ мм. Такой тип разделок используется во многих странах [4, 11, 15–17] и характеризуется следующими геометрическими параметрами:

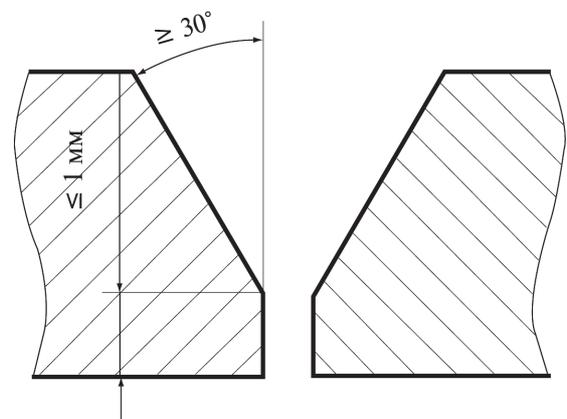


Рис. 1. V-образная разделка кромок

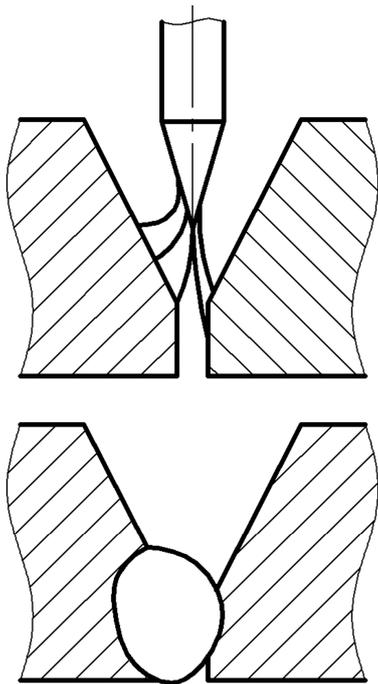


Рис. 2. Непровар корня шва ввиду блуждания дуги

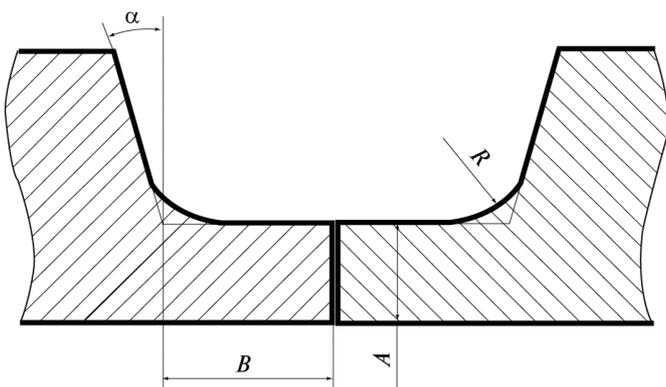


Рис. 3. U-образная разделка кромок

- значение угла фаски α ;
- размер площадки B ;
- значение притупления A ;
- значение радиуса перехода между площадкой и фаской R .

Численные данные по геометрическим параметрам U-образных разделок кромок сильно отличаются, поэтому имеет смысл определить критерии их выбора.

Значение угла фаски должно составлять более 10° . Основным критерием выбора угла фаски является, с одной стороны — доступность сварного соединения, а с другой — уменьшение количества присадочного материала и, следовательно, времени под сварку. Также угол

фаски способствует течению жидкого металла сварочной ванны при выполнении заполняющих слоев шва.

Площадка B является главным средством борьбы с нестабильностью провара корня шва (см. рис. 2). Ее размер необходимо выбирать исходя из условия невозможности блуждания дуги. Типовые значения данного параметра — $2,0...4,0$ мм.

Величину притупления A выбирают исходя из проплавляющей возможности сварочной дуги и возможности удержания сварочной ванны в различных пространственных положениях. Для углеродистых низколегированных сталей она составляет $1,5...3,0$ мм.

Радиус R перехода между площадкой и фаской позволяет минимизировать возможность образования несплавлений между площадкой и прилегающей к ней стенкой (фаской) разделки кромок при выполнении заполняющего слоя сварного шва, что может привести к образованию пустот и шлаковых включений. Типовое формирование заполняющего слоя шва при разделке без радиуса перехода и с радиусом перехода изображено на рис. 4. Значение данного радиуса сильно зависит от толщины стенки, и величины площадки B и составляет $0,5...5$ мм.

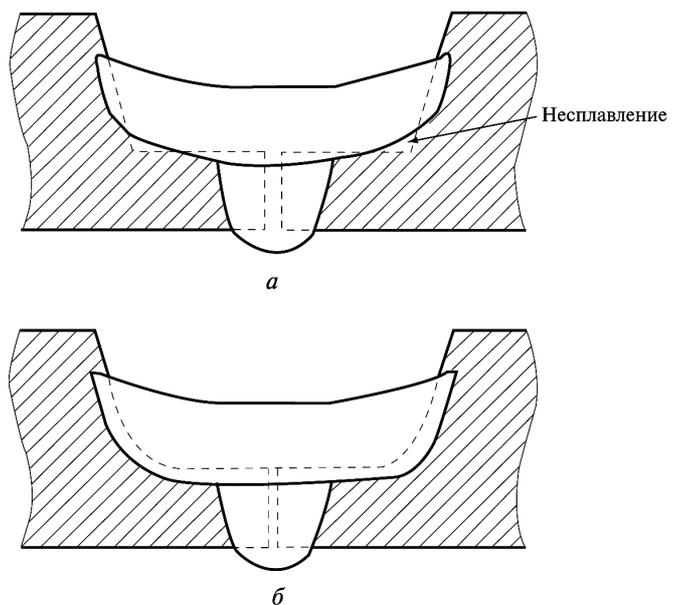


Рис. 4. Формирование заполняющего корня шва при разделках кромок:

a — без радиуса перехода; b — с радиусом перехода

Представленные выше геометрические параметры U-образной разделки кромок изображены на рис. 5.

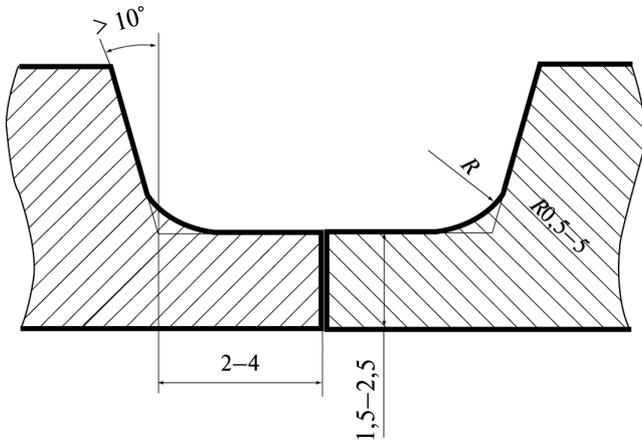


Рис. 5. Геометрические параметры U-образной разделки кромок

Выполнение корневого слоя шва. Выполнение корневого слоя шва при сварке труб малого диаметра по характеру режима классифицируют на три типа:

- 1) непрерывный режим;
- 2) импульсный режим;
- 3) шагоимпульсный режим.

Выполнение корневого слоя шва в непрерывном режиме характеризуется наиболее высокой производительностью среди представленных режимов сварки. Циклограмма этого режима представлена на рис. 6. Данный режим отличается большим тепловложением в свариваемые материалы, что зачастую негативно влияет на механические свойства сварного соединения [17, 18, 19], а также способствует нестабильному формированию обратного валика корневого слоя сварного шва. Поэтому

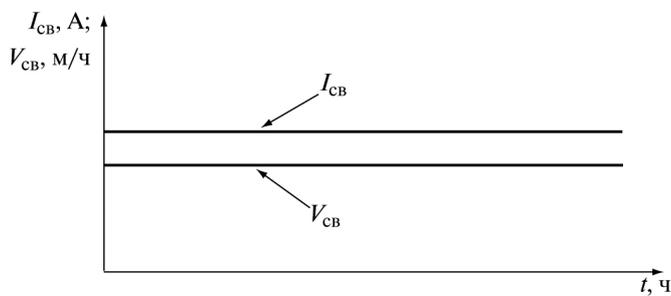


Рис. 6. Выполнение корневого слоя шва в непрерывном режиме сварки:

$I_{св}$ — сварочный ток; $V_{св}$ — скорость сварки; t — время сварки

наибольшее применение находят импульсные режимы сварки.

Сварка корневого слоя шва в импульсном режиме за счет комбинаций сварочного тока и времени его действия в импульсе и паузе (рис. 7) характеризуется меньшим тепловложением в свариваемые материалы, чем сварка в непрерывном режиме, что является неоспоримым преимуществом данного режима. Также при сварке в импульсном режиме объем ванны меньше, чем при сварке в непрерывном режиме, что улучшает формирование сварного шва в различных пространственных положениях.

Сварка корневого слоя шва в шагоимпульсном режиме (рис. 8), при котором движение горелки происходит во время паузы ($t_{п}$) на фиксированный шаг, является модернизацией импульсного режима сварки. Данный режим нашел широкое применение в атомной промышленности при сварке трубопроводов из аустенитных сталей [11] и характеризуется наибольшими возможностями по управлению технологическими параметрами сварки, сварочной ванной и структурой сварного соединения [18], однако он имеет невысокую производительность.

Следует отметить, что при сварке углеродистых и низколегированных сталей наиболее применимы непрерывный и импульсный режимы сварки ввиду их высокой производительности.

На сегодняшний день незначительная модернизация технологий автоматической орби-

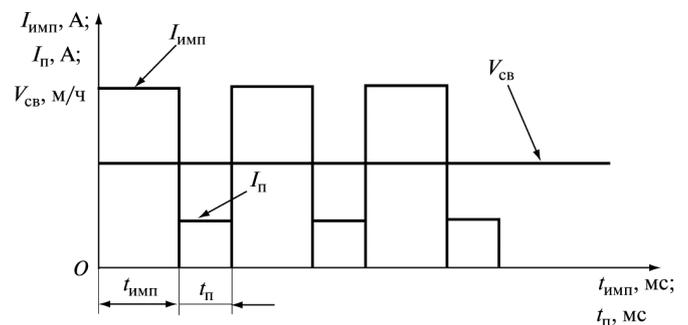


Рис. 7. Выполнение корневого слоя шва в импульсном режиме сварки:

$I_{имп}$ — сварочный ток в импульсе; $I_{п}$ — сварочный ток в паузе; $t_{имп}$ — время импульса; $t_{п}$ — время паузы; $V_{св}$ — скорость сварки

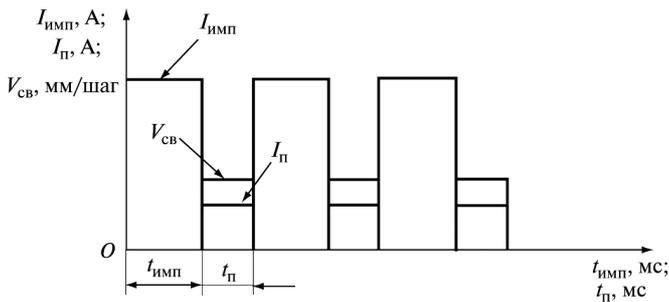


Рис. 8. Выполнение корневого слоя шва в шагоимпульсном режиме сварки:

$I_{имп}$ — сварочный ток в импульсе; $I_{п}$ — сварочный ток в паузе; $t_{имп}$ — время импульса; $t_{п}$ — время паузы; $V_{св}$ — скорость сварки

тальной сварки неплавящимся электродом возможна лишь с применением многочисленных вариаций самого способа сварки, а наиболее перспективным и многообещающим направлением является плазменная сварка проникающей дугой, позволяющая значительно повысить производительность сборочно-сварочных операций.

Литература

1. Роцин В.В., Полосков С.И., Воронцов Н.Ю., Либеров В.И. Автоматическая орбитальная сварка с присадочной проволокой стыков труб поверхностей нагрева котлоагрегатов // Сб. докл. Всерос. науч.-техн. конф. «Сварка и контроль—2004». Пермь: ПГТУ, 2004. Т. 3. С. 276—281.
2. Гитлевич А.Д., Харин В.П. Сварка стыков труб котельных поверхностей нагрева (обзор) // Сварочное производство. 1992. № 3. С. 35 — 37.
3. Шипилов А.В., Вышемирский Е.М., Полосков С.И. Технические требования к технологиям и оборудованию для сварки трубопроводов малых диаметров на компрессорных станциях // Территория Нефтегаз. 2012. № 3. С. 58—61.
4. Шипилов А.В. Особенности автоматической орбитальной сварки неплавящимся электродом трубопроводов обвязки компрессорных станций // Сварка и Диагностика. 2010. № 5. С. 42—47.
5. Ищенко Ю.С., Букаров В.А., Пищик В.Т. Сварка неповоротных стыков труб без разделки кромок проникающей плазменной дугой // Сварочное производство. 1975. № 5. С. 17—18.
6. Труды НИКИМТ. Сварка в атомной промышленности и энергетике. В 2 т. Т. 1 / Под общ. ред. Л.Н. Шавелева; ред.-сост. А.А. Куркумели. М.: ИздАТ, 2002. 400 с.
7. Plasma to the fore // Connect. 2004. No. 5. P. 8. URL: <http://www.twi.co.uk/news-events/publications/connect/archive/2004/may-june/plasma-to-the-fore/?locale=en>. (Дата обращения: 15.03.2013).
8. Труды НИКИМТ. Сварка в атомной промышленности и энергетике. В 2 т. Т. 2. / Под общ. ред. Л.Н. Шавелева, ред.-сост. А.А. Куркумели. М.: ИздАТ, 2002. 423 с.
9. Галкин В.А., Шипилов А.В., Вышемирский Е.М., Полосков С.И. Опыт создания отечественного блочно-модульного оборудования для автоматической орбитальной TIG-сварки

с подачи присадочной проволоки // Сварка и диагностика. 2011. № 1. С. 36—41.

10. Шефель В.В. Автоматическая сварка трубопроводов атомных электростанций // Автоматическая сварка. 1987. № 2. С. 45—50.
11. Оборудование и трубопроводы атомных энергетических установок. Сварка и наплавка, основные положения ПНАЭ Г-7—009—89: Нормативный документ. М.: НТЦ ЯРБ Госатомнадзора России, 2000.
12. Samardzic I., Despotovic B., Klaric S. Automatic pipe butt welding processes in steam boilers production // Welding in the World — Soudage dans le Monde. 2007. Vol. 51, Special Edition P. 615—624.
13. Коберник Н.В., Третьяков Е.С., Чернышов Г.Г. Сварка неплавящимся электродом труб малого диаметра из углеродистых и низколегированных сталей с применением комбинированной защиты // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2012. № 9. С. 70—76.
14. Шипилов А.В., Куркин А.С., Полосков С.И. Влияние формы и размеров сварных соединений на долговечность трубопроводов компрессорных станций // Сварка и Диагностика. 2010. № 6. С. 47—51.
15. Шипилов А.В., Ерофеев В.А., Бровко В.В., Полосков С.И. Компьютерный анализ условий качественного формирования швов при орбитальной сварке трубопроводов малых диаметров из конструкционных сталей // Сварка и Диагностика. 2011. № 5. С. 17—23.
16. Bennet R.W. Tungsten arc welding the root pass of power-pipe joints // Welding. 1959. Vol. 38. No. 12. P. 1175—1181.
17. Lukas W. Process Pipe and Tube Welding: A guide to welding process options, techniques, equipment, NDT and codes of practice // Woodhead Publishing; First Edition, 1991. 160 p.
18. Kenyon N., Morrison W.B., Quarrel A.G. Fatigue strength of welded joints in structural steels // British Welding Journal. 1966, Vol. 13. No. 3. P. 123—127.
19. Kawasaki T., Savaki Y., Yagi K. Effect of external geometry on fatigue strength of welded high tensile steel // Journal of the Japan Welding Society. 1968, Vol. 37. No. 12. P. 65—78.
20. Arc Machines, Inc. // Разделка кромок труб под сварку. URL: <http://www.arcmachines.ru/html/f1112624525.html> (Дата обращения: 15.01.2013).
21. Шипилов А.В., Коновалов А.В., Бровко В.В., Полосков С.И. Управление структурой сварных соединений при орбитальной TIG-сварке технологических трубопроводов компрессорных станций // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2011. № 6. С. 44—52.
22. Галкин В.А., Шипилов А.В., Латышев А.А., Полосков С.И. Новые технологии и оборудование для автоматической орбитальной сварки технологических трубопроводов малых диаметров // Газовая промышленность. 2012. № 11. С. 60—64.

References

1. Roshchin V.V., Poloskov S.I., Vorontsov N.Iu., Libеров V.I. *Avtomaticheskaja orbital'naja svarka s prisadocnoi provolokoi stykov trub poverkhnostei nagreva kotloagregatov* [Automatic orbital welding with filler wire pipe joints boiler heating surfaces]. *Sbornik dokladov Vserossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii «Svarka i kontrol'—2004»* [Collection of the All-Russian Scientific Conference «Welding and Control 2004»]. Perm', PNRPU publ., 2004, vol. 3, pp. 276—281.
2. Gitlevich A.D., Kharin V.P. *Svarka stykov trub kotel'nykh poverkhnostei nagreva (obzor)* [Welding pipe joints boiler heating surfaces (review)]. *Svarocnoe Proizvodstvo* [Welding Production]. 1992, no. 3, pp. 35—37.
3. Shipilov A.V., Vyshemirskii E.M., Poloskov S.I. *Technicheskie trebovaniia k tekhnologiiam i oborudovaniuu dlia*

svarki truboprovodov malyykh diametrov na kompressornykh stantsiiakh [Technical requirements for the technology and equipment for welding of small diameter pipelines at compressor stations]. *Territoria Neftegaz* [Territory Naftogaz]. 2012, no. 3, pp. 58–61.

4. Shipilov A.V. Osobennosti avtomaticheskoi orbital'noi svar-ki neplaviashchimsia elektrodom truboprovodov obviazki kompressornykh stantsii [Features automatic orbital welding consumable electrode piping compressor stations]. *Svarka i Diagnostika* [Welding and Diagnostics]. 2010, no. 5, pp. 42–47.

5. Ishchenko Iu.S., Bukarov V.A., Pishchik V.T. Svarka nepovorotnykh stykov trub bez razdelki kromok pronikaiushchei plazmennoi dugoi [Orbital welding of pipe joints without cutting edges penetrating plasma arc]. *Svarochnoe Proizvodstvo* [Welding Production]. 1975, no. 5, pp. 17–18.

6. Shchhavelev L.N., Kurkumeli A.A. *Svarka v atomnoi promyshlennosti i energetike* [Welding in the nuclear industry and the energy sector]. *Trudy NIKIMT* [Proceedings NIKIMT]. Moscow, IzdAT publ., vol. 1, 2002, 400 p.

7. Plasma to the fore. *Connect*. 2004, no.5, 8 p. Available at: <http://www.twi.co.uk/news-events/publications/connect/archive/2004/may-june/plasma-to-the-fore/?locale=en> (Accessed 15 March 2013).

8. Shchhavelev L.N., Kurkumeli A.A. *Svarka v atomnoi promyshlennosti i energetike* [Welding in the nuclear industry and the energy sector]. *Trudy NIKIMT* [Proceedings NIKIMT]. Moscow, IzdAT publ., vol. 2, 2002, 423 p.

9. Galkin V.A., Shipilov A.V., Vyshemirskii E.M., Poloskov S.I. Opyt sozdaniia otechestvennogo blochno-modul'nogo oborudovaniia dlia avtomaticheskoi orbital'noi TIG-svar-ki s podachei prisadochnoi provoloki [Experience of creation of domestic modular equipment for orbital TIG-welding with filler wire]. *Svarka i Diagnostika* [Welding and Diagnostics]. 2011, no. 1, pp. 36–41.

10. Shefel' V.V. Avtomaticheskaiia svarka truboprovodov atomnykh elektrostantsii [Automatic welding of pipelines of nuclear power plants]. *Avtomaticheskaiia svarka* [The Paton Welding Journal]. 1987, no. 2, pp. 45–50.

11. *Oborudovanie i truboprovody atomnykh energeticheskikh ustanovok. Svarka i naplavka, osnovnye polozheniia PNAE G-7-009-89: Normativnyi dokument*. [Equipment and piping of nuclear power installations. Welding and surfacing, the main provisions PNAE G-7-009-89: Standard document]. Moscow, NTTs IaRB Gosatomnadzora Rossii publ., 2000.

12. Samardzic I., Despotovic B., Klaric S. Automatic pipe butt welding processes in steam boilers production. *Welding in the World. Soudage dans le Monde*. 2007. Vol. 51, Special Edition, pp. 615–624.

13. Kobernik N.V., Tret'iakov E.S., Chernyshov G.G. Svarka neplaviashchimsia elektrodom trub malogo diametra iz

uglerodistykh i nizkolegirovannykh staley s primeneniem kombinirovannoi zashchity [Gas tungsten arc welding of carbon and low-alloy steels small diameter pipes with combined protection]. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Mashinostroenie* [Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building]. 2012, no. 9, pp. 70–76.

14. Shipilov A.V., Kurkin A.S., Poloskov S.I. Vliianie formy i razmerov svarnykh soedinenii na dolgovechnost' truboprovodov kompressornykh stantsii [Influence of weld geometrical parameters on durability of pipelines of compressor plant]. *Svarka i Diagnostika* [Welding and Diagnostics]. 2010, no. 6, pp. 47–51.

15. Shipilov A.V., Erofeev V.A., Brovko V.V., Poloskov S.I. Komp'yuternyi analiz uslovii kachestvennogo formirovaniia shvov pri orbital'noi svarke truboprovodov malyykh diametrov iz konstruktsionnykh staley [Computer analysis of factors for high-quality welds formation in small diameter construction steel pipeline orbital weldings]. *Svarka i Diagnostika* [Welding and Diagnostics]. 2011, no. 5, pp. 17–23.

16. Bennet R.W. Tungsten arc welding the root pass of power-pipe joints. *Welding Journal*, 1959, vol. 38, no. 12, pp. 1175–1181.

17. Lukas W. *Process Pipe and Tube Welding: A guide to welding process options, techniques, equipment, NDT and codes of practice*. Woodhead Publishing; First Edition, 1991. 160 p.

18. Kenyon N., Morrison W.B., Quarrel A.G. Fatigue strength of welded joints in structural steels. *British Welding Journal*, 1966, vol. 13, no. 3, pp. 123–127.

19. Kawasaki T., Savaki Y., Yagi K. Effect of external geometry on fatigue strength of welded high tensile steel. *Journal of the Japan Welding Society*. 1968, vol. 37, no.12, pp. 65–78.

20. *Sabaros S.A. Razdelka kromok trub pod svarku* [Groove pipe weld]. Available at: <http://www.arcmachines.ru/html/f112624525.html>, Arc Machines, Inc. (Accessed 15 January 2013).

21. Shipilov A.V., Kononov A.V., Brovko V.V., Poloskov S.I. Upravlenie strukturoi svarnykh soedinenii pri orbital'noi TIG-svarke tekhnologicheskikh truboprovodov kompressornykh stantsii [Joint weld structure control during orbital TIG-welding of compressor plant industrial pipelines]. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Mashinostroenie* [Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building]. 2011, no. 6, pp. 44–52.

22. Galkin V.A., Shipilov A.V., Latyshev A.A., Poloskov S.I. Novye tekhnologii i oborudovanie dlia avtomaticheskoi orbital'noi svar-ki tekhnologicheskikh truboprovodov malyykh diametrov [New technologies and equipment for process piping automatic orbital welding]. *Gazovaya Promyshlennost'* [GAS Industry of Russia]. 2012, no. 11, pp. 60–64.

Статья поступила в редакцию 21.03.2013

Информация об авторах

ТРЕТЬЯКОВ Евгений Сергеевич (Москва) — научный сотрудник ФГАУ «НУЦ «Сварка и Контроль» при МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 7, стр. 2, e-mail: etretyakov@yahoo.com).

КОБЕРНИК Николай Владимирович (Москва) — кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии сварки и диагностики». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: koberniknv@yandex.ru).

Information about the authors

TRETYAKOV Evgeny Sergeevich (Moscow) — Researcher FGAAU «NCA» Welding and Control» Bauman Moscow State Technical University (BMSTU, building 2, 2-nd Baumanskaya str., 7, 105005, Moscow, Russian Federation, e-mail: etretyakov@yahoo.com).

KOBERNIK Nikolay Vladimirovich (Moscow) — Dr. Sc. (Eng.), Associate Professor of «Welding and diagnostics» Department. Bauman Moscow State Technical University (BMSTU, building 1, 2-nd Baumanskaya str., 5, 105005, Moscow, Russian Federation, e-mail: koberniknv@yandex.ru).