

Технология и технологические машины



ЖУРАВЛЁВ
Сергей Иванович
(ЗАО «Псковэлектросвар»)

ZHURAVLEV
Sergey Ivanovich
(Pskov, Russian Federation,
CJSC «Pskovelectrosvar»)

УДК 621.791.03:625.143.48

Пути решения проблем внедрения контактной стыковой сварки оплавлением на магистральных трубопроводах больших диаметров (обзор)

С.И. Журавлёв

Производительность строительно-монтажных работ на магистральных трубопроводах во многом определяется темпом сварочно-монтажных работ, поэтому обеспечение качества сварных соединений и высокой производительности применяемых процессов сварки магистральных трубопроводов является актуальной задачей. Эффективное решение данной задачи — устранение препятствий внедрения прогрессивного способа сварки — контактной стыковой сварки оплавлением. Однако данный метод сварки характеризуется некоторым снижением механических свойств соединений и возникновением характерных дефектов в виде «матовых пятен». Для исключения подобных дефектов и обеспечения необходимых свойств соединения следует провести комплексные исследования, основанные на физико-математическом моделировании характерных стадий процесса сварки, в том числе, тепловых и деформационных процессов. Для их проведения должен быть разработан виртуальный процесс контактной стыковой сварки оплавлением, позволяющий оценить влияние технологических параметров на качество сварных соединений. Это позволит выбрать оптимальные параметры сварки, обеспечивающие стабильно высокое качество соединений.

Ключевые слова: контактная стыковая сварка оплавлением, электрическая дуга, физико-математическое моделирование, магистральные трубопроводы.

Ways of solving the problems of implementation of flash-butt resistance welding on the main big-diameter pipelines (an overview)

S.I. Zhuravlev

The efficiency of construction and assembly works on main pipelines is essentially determined by the rate of welding assembly works. Therefore, the quality

assurance of welded joints and enhancement of efficiency of welding processes in pipelines are important tasks. An effective solution to these problems is to eliminate the obstacles to the implementation of the advanced method of welding, that is, the flash-butt resistance welding. However, this method is characterized by a reduction in mechanical properties of welded joints and the appearance of characteristic defects in the form of «dead spots». To eliminate these defects and to provide the required properties of joints, the comprehensive research should be conducted on the basis of physical and mathematical modeling of specific steps in the welding process including thermal and deformation processes. To carry them out, a virtual flash-butt resistance welding process should be developed. It will make it possible to assess the effect of process parameters on the quality of welded joints. This can help in selecting the optimum welding parameters to ensure stable high-quality joints.

Keywords: flash-butt resistance welding, electric arc, physical and mathematical modeling, main pipelines.

Обеспечение надежности и безопасности объектов трубопроводного транспорта углеводородного сырья требует разработки новых научных подходов к использованию сварочных технологий при строительстве и эксплуатации магистральных трубопроводов [1]. При этом основным критерием оценки эффективности применения новых подходов являются качество получаемых сварных соединений и производительность применяемых процессов сварки. В настоящее время при строительстве магистральных трубопроводов используют ручную электродуговую сварку, механизированную (полуавтоматическую) сварку, а также автоматическую орбитальную сварку в защитных газах. На сегодняшний день основными проблемами реализации данных способов дуговой сварки являются:

- низкая производительность дуговых процессов сварки;
- высокий процент ремонтируемого и неремонтируемого брака (4...7%);
- потребность в дорогостоящих сварочных материалах и газах;
- необходимость выполнения специальной разделки кромок стыка;
- большое количество обслуживающего персонала;

- высокие требования к квалификации сварщиков.

Однако известен способ сварки магистральных трубопроводов большого диаметра [2, 3], который лишен большинства перечисленных выше недостатков — контактная стыковая сварка оплавлением (КССО), которая обеспечивает высокую производительность процесса сварки с одновременным уменьшением влияния на него человеческого фактора. В зависимости от размеров трассовой территории и диаметра труб сварочные машины для реализации КССО выпускают двух конструктивных исполнений: с размещением фиксирующих элементов и токоподвода снаружи трубы и более компактным внутритрубным размещением.

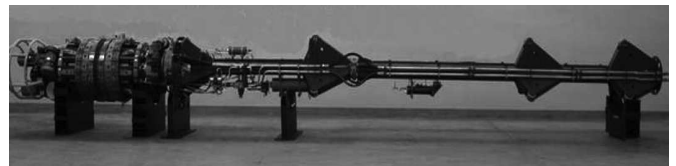


Рис. 1. Машина для контактной стыковой сварки стыков труб

Сварочная машина КССО, размещаемая в полости свариваемых труб представлена на рис. 1, а сам процесс КССО на рис. 2.

Следует отметить, что не только само протекание процесса, но и размеры и форма шва в виде тонкой полоски, выполненного КССО (рис. 3), отличаются от швов, выполненных ду-

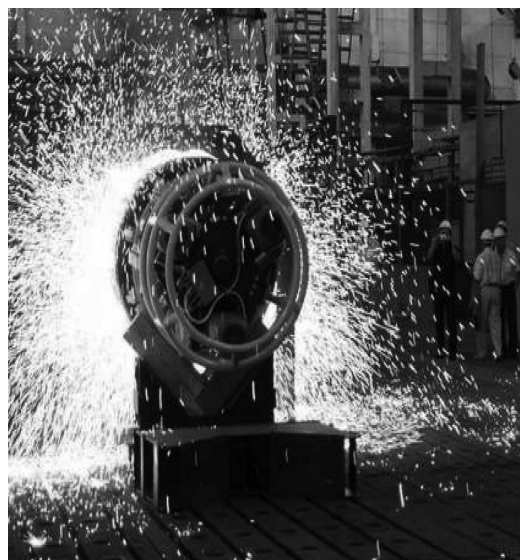
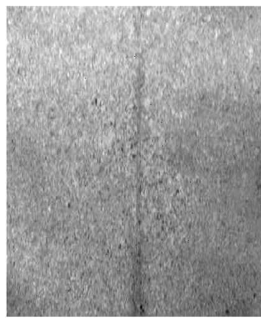
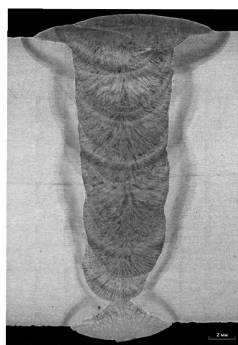


Рис. 2. Процесс КССО



а



б

Рис. 3. Форма шва при сварке стыков труб КССО (а) и плавящимся электродом по узкому зазору (б)

говыми способами сварки даже по узкому зазору [4], что свидетельствует о разных условиях нагрева и охлаждения в процессе образования соединения.

Основными преимуществами КССО являются:

- отсутствие в процессе сварки сварочных материалов и газов;
- высокая техническая производительность процесса сварки (сварка одного стыка за 1...3 мин);
- небольшое количество обслуживающего персонала (15 человек);
- отсутствие необходимости предварительного подогрева стыка;
- отсутствие необходимости в специальной фаске на торце трубы;
- независимость качества сварного соединения от погодных условий;
- отсутствие остаточных напряжений в сварном соединении.

В 80-е годы XX века КССО применялась при строительстве трубопроводов. Десятки тысяч километров различных трубопроводов безаварийно эксплуатируются в течение более 30 лет в различных регионах СНГ со сложными природными и климатическими условиями [5]. Интересно отметить, что хотя начало применения КССО стержней и труб малых диаметров в стационарных цеховых условиях относится к 1930-м годам [6, 7], до сих пор существует ряд факторов, препятствующих широкому применению КССО при строительстве трубопроводов больших диаметров в полевых условиях.

В настоящее время приоритетным направлением развития нефтегазового комплекса является выход нефтедобывающей промышленности в новые нефтегазовые регионы Северо-Западного округа, Восточной Сибири и Дальнего Востока. По условиям работы при низких температурах повышаются требования к механическим свойствам металла труб и сварному соединению, в частности пластическим свойствам, хладостойкости и свариваемости [8]. Одновременно увеличиваются рабочие давления в трубопроводах: до 100...200 атм в газопроводах и до 75...100 атм — в нефтепроводах. Для изготовления труб используются стали с феррито-бейнитной и бейнитной структурой. Химический состав металла труб, предназначенных для работы при низких температурах, предполагает повышенное содержание ниобия, титана и ванадия и пониженное содержание углерода. Стали такого типа являются термически нестабильными. Сварочный нагрев ведет к структурным изменениям, в результате которых механические свойства соединений значительно отличаются от свойств основного металла. Данные свойства нового поколения высокопрочных сталей создают определенные проблемы при реализации любого способа сварки плавлением, в том числе и при КССО.

При испытаниях механических свойств соединений, выполненных КССО, на образцах Шарпи с надрезом по линии соединения сварных образцов зафиксировано некоторое снижение ударной вязкости в области стыка. В то время как ударная вязкость основного металла была 335,8 Дж/см² и 334,9 Дж/см² при +20 и -40 °С соответственно, средняя ударная вязкость на участке линии соединения снизилась до 15,0 Дж/см² при температуре +20 °С и до 8,1 Дж/см² при температуре -20 °С. Таким образом, механические свойства сварных стыков по результатам испытаний на статическое растяжение, статический изгиб, измерение твердости соответствуют требованиям ВСН 006—89, ВСН 012—88 (ч. 1), СП 105-34—96, АРІ 1104 и не соответствуют требованиям СП 105-34—96 по значению минимальной ударной вязкости — 29,4 Дж/см². О некотором снижении механических свойств соединений, выполненных КССО отмечается и в работе [9]. Улучшить механические свойства сварных соеди-

нений можно оптимизацией параметров режима сварки, либо дополнительной термической обработкой. Однако такие приемы улучшения механических свойств сварного соединения не должны одновременно ухудшать свойства зоны термического влияния (ЗТВ) основного металла, поэтому значения ее оптимальных параметров в зависимости от марки основного металла нуждаются в уточнении.

На стыках, выполненных КССО, допускаются местные смещения кромок на 20% периметра стыка, которые не превышают 30% толщины стенки, но не более 4 мм. Однако подобные смещения кромок сложно проконтролировать непосредственно в процессе сварки, поэтому сварочные машины должны быть дополнительно оснащены прецизионными датчиками перемещений.

Не менее важной проблемой является качественное и высокопроизводительное удаление внутреннего и наружного грата, так как стыки должны иметь усиление высотой не более 3 мм. Качественное снятие внутреннего грата в автоматическом режиме с плавным переходом металла шва к основному металлу является важнейшей задачей, так как при сварке в непрерывную нитку внутритрубной машиной нет возможности произвести доработку ручной шлифовальной машиной. В настоящее время для выполнения этой операции применяются два основных метода: снятие грата в горячем состоянии плужковым гратоснимателем непосредственно после осадки за счет перемещения подвижной части машины и снятие грата резовым механизмом, смонтированным на вращающейся планшайбе сварочной машины. При сварке труб с толщиной стенки свыше 20 мм хорошие результаты дает комбинированный метод снятия внутреннего грата, когда основное усиление снимается плужком, а чистовая обработка выполняется резовым механизмом, установленным за плужковым гратоснимателем. Снятие наружного грата выполняется с помощью отдельного механизма как резового, так и фрезерного типа, устанавливаемого на стык. Перспективным является удаление грата методом плазменной строжки [10]. Нет сомнений, что в самое ближайшее время все проблемы по удалению наружного и внутреннего грата будут полностью решены.

В настоящее время в мировой практике строительства магистральных газопроводов (МГ) расширяются объемы использования труб с внутренним гладкостным покрытием. Применение таких труб, благодаря снижению гидравлического сопротивления при прокачке газа, в значительной мере влияет на технологические параметры транспорта газа. Проведенные исследования показали [11], что применение труб с внутренним гладкостным покрытием позволяет увеличить производительность МГ на 10...12%. В работе [12] предложено для реализации технологий стыковой контактной сварки, для которой очень важно обеспечить устойчивый контакт электродов сварочной машины с металлом трубы, увеличить непосредственно в зоне выполнения сварного соединения ширину на 100 мм зоны зачистки внутренней поверхности трубы от внутреннего гладкостного покрытия. Однако данный прием требует уточнения режимов сварки с целью исключения обгорания покрытия по большей ширине. Требуют дополнительной проработки и вопросы перемещения сварочной машины внутри трубы без нарушения гладкостного покрытия.

Не менее остро стоят вопросы обеспечения контроля качества сварных соединений, выполненных КССО. Используемые в настоящее время методы неразрушающего контроля, в силу разных причин не могут выявить специфические дефекты типа «матовых пятен» [13], которые присущи швам, выполненным КССО. Кроме того, данные методы регистрируют качество уже выполненных соединений, что исключает возможность обнаружения брака непосредственно в процессе сварки и своевременную корректировку режимов или настройку оборудования. В этой связи для КССО весьма перспективным является использование интеллектуальных совмещенных систем автоматизированного управления и технического контроля, которые в максимальной степени обеспечат уменьшение объема или даже полное исключение послеоперационного контроля [14]. Одновременно подобные системы позволят самостоятельно оценить стабильность процесса сплавления непосредственно при КССО [15], и при необходимости корректировать параметры процесса сварки по датчикам обратных связей. Наиболее эффективно

такая система функционирует, когда она сочетает обработку информации классическими методами инженерии знаний с ассоциативной обработки данных нейронными сетями. Вместе с тем, создание подобных систем не исключает полностью идентификацию внутренних дефектов соединений, поэтому системы неразрушающего контроля для КССО нуждаются в дальнейшем совершенствовании.

Поэтому для обеспечения стабильно высокого качества сварных соединений в состав сварочного комплекса для КССО помимо самой сварочной машины должны входить зачистное устройство для подготовки контактных поверхностей труб, наружный и внутренний гратосниматели, индукционный нагреватель для послесварочной термообработки либо сварочный дуговой автомат для термоциклирования, современное устройство ультразвукового контроля.

Процессы КССО относятся к высокоэнергетическим процессам сварки. Для качественной сварки труб с толщинами стенок более 25 мм требуются энергетические установки мощностью до 2 000 кВА. Серийно выпускаемые установки — это крупногабаритные, тяжелые агрегаты массой порядка 15 т. Расход топлива — до 400 л/ч при 100%-ной нагрузке. Внешний вид дизельной электростанции мощностью 2000 кВА компании Caterpillar (США) представлен на рис. 4. Поэтому существует потребность, как в мобильных установках высокой мощности, так и уменьшения энергопотребления самим процессом сварки [16, 17]. Для рационального энергопотребления в состав энергетических установок можно вводить специальные накопи-

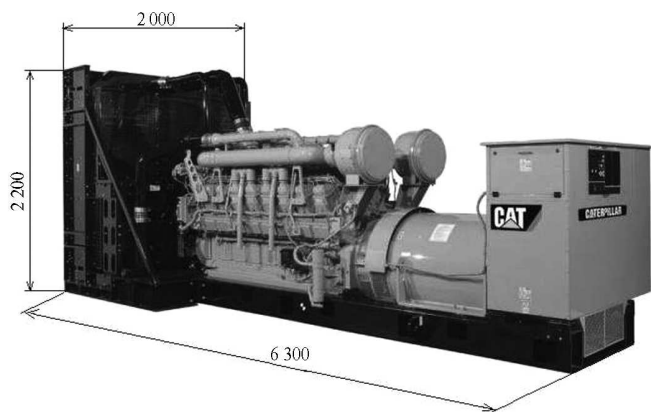


Рис. 4. Дизельная электростанция мощностью 2 000 кВА

тели энергии механического или электрического типа. Подобные накопители энергии выдают энергию в период сварки, а накапливают ее от энергетической установки в период транспортировки сварочной машины от стыка к стыку. Кроме того, высокое энергопотребление требует надежного контакта токоподводящих башмаков с поверхностью свариваемых труб. В этой связи разрабатываются мобильные механизмы локальной зачистки для качественного контакта с токоподводящими башмаками машины.

Существует и целый ряд других проблем (рис. 5), затрудняющих промышленное применение КССО, которые можно классифицировать по влиянию на стабильность параметров процесса, минимизацию дефектов сварных соединений, проблемам практической реализации процесса сварки.

Для решения проблем технологий КССО при сварке магистральных трубопроводов необходимо проведение комплекса исследований, направленных на обеспечения стабильного качества сварных соединений, оценки влияния технологических параметров на качество формирования швов, минимизации энергопотребления сварочным оборудованием.



Рис. 5. Проблемы промышленного применения КССО при строительстве магистральных трубопроводов

Решение перечисленных проблем крайне трудоемкая задача, поэтому целесообразно применить инженерный анализ с использованием компьютерной модели процесса КССО учитывающей основные физические явления при образовании сварного соединения [18]. В настоящее время разработаны физико-математические модели типовых процессов сварки: дугового, лучевого, трением, контактного [19]. Имеется ряд работ и по моделированию отдельных проявлений КССО, в том числе температурных полей и энергопотребления процесса, например [20, 21].

Накопленный опыт позволяет разработать модель КССО, которая будет учитывать все основные физические явления (рис. 6) при сварке.



Рис. 6. Физические явления, учитываемые в модели КССО

Доказательство адекватности модели должно быть получено на основе сопоставления расчетных и опытных значений: осциллограмм тока и напряжения при оплавлении торцов стыка, линейных перемещений и усилий осадки, распределения температур металла стыка и ЗТВ, механических характеристик сварного соединения. С учетом этого, модель КССО позволит оптимизировать процесс КССО и минимизировать взаимовлияние тех его технологических параметров (рис. 7), которые, в конечном счете, и определяют свойства сварных соединений.

При этом с помощью модели можно будет установить целый ряд зависимостей по особенностям формирования соединений, в том числе:

- влияния усилия сжатия на деформационный процесс осадки;
- оценки влияния термических и электрических явлений на диффузионные процессы и массоперенос при оплавлении;
- взаимодействия процесса оплавления со сварочным источником;



Рис. 7. Возможные результаты физико-математического моделирования явлений при КССО

- оценки влияния тепловых процессов на металл стыка и ЗТВ;
- управлении полиморфными превращениями в металле шва и ЗТВ.

Однако помимо самой компьютерной модели необходимо также создать программное обеспечение (интерфейс) для ввода исходных данных и вывода результатов моделирования в наглядной для пользователя форме.

Решение с использованием современных методов инженерного анализа перечисленных проблем внедрения КССО будет способствовать более широкому применению данного процесса сварки при строительстве магистральных трубопроводов больших диаметров в полевых условиях.

Выводы

1. Перспективным путем увеличения производительности при строительстве магистральных трубопроводов является внедрение технологий КССО.
2. Для решения проблем технологий КССО при сварке магистральных трубопроводов необходимо проведение комплекса исследований, направленных на обеспечения стабильного качества швов, оценки влияния технологических параметров на свойства сварных соединений, минимизации энергопотребления сварочным оборудованием.
3. Для выбора оптимальных параметров КССО, обеспечивающих стабильно высокое качество сварных соединений, целесообразно проведение инженерного анализа на компью-

терной модели, учитывающей основные физические явления процесса сварки.

4. Физико-математическая модель процесса сварки оплавлением должна учитывать особенности формирования соединений, в том числе влияние усилия сжатия на осадку, влияние термических и электрических явлений на диффузионные процессы, полиморфные превращения в металле шва и ЗТВ.

Литература

1. Мазур И.И., Иванцов О.М. Безопасность трубопроводных систем. М.: ИЦ «Елима», 2004. 1104 с.
2. Кучук-Яценко С.И. Контактная стыковая сварка оплавлением. Киев: Наукова Думка, 1992. 236 с.
3. Komizo Yuichi. Overview of recent welding technology reating to pipeline construction // Transactions of JWRI. 2008. Vol. 37. No. 1. P. 1–5.
4. Гецкин О.Б., Вышемирский Е.М., Шипилов А.В., Полосков С.И. Опыт разработки и применения современных отечественных технологий и оборудования для автоматической орбитальной сварки магистральных газопроводов // Сварка и Диагностика. 2010. № 6. С. 51–57.
5. Чучкалов М.В., Аскарлов Р.М., Хафизов Р.Ф., Шарафиев Р.Г. Оценка безопасности эксплуатации магистральных газопроводов больших диаметров, сваренных контактной стыковой сваркой. Исследование механических свойств сварных соединений // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2008. № 2. С. 86–94.
6. Eriksson L., Sundin J. Flash butt welding. Old welding technology-state of art in special applications // Svetsaren. 2001. Vol. 56. No. 2-3. P. 58–61.
7. Okamoto T. Electric welding // The Journal of the Institute of Electrical Engineers of Japan. 1936. Vol. 56. Issue 577. P. 926–935.
8. Ишикава Н., Окаццу М., Кондо Д. Разработка высокопрочных труб для магистральных трубопроводов, рассчитанных на эксплуатацию в тяжелых геолого-климатических условиях // Наука и техника в газовой промышленности. 2009. № 1. С. 92–99.
9. Ichiyama Y., Kodama S. Flash-butt welding of high strength steels // Nippon Steel Technical Report. 2007. Issue 95. P. 81–87.
10. Технология удаления внешнего гратта сварных стыков труб плазменной строжкой / Ф.Е. Дорошенко, В.И. Хоменко, С.И. Журавлёв и др. // Сварка и Диагностика. 2012. № 6. С. 47–50.
11. Обоснование целесообразности применения внутритрубных покрытий для магистральных газопроводов России / А.Д. Седых, Л.Г. Белозеров, В.М. Гурьянов и др. // Современные проблемы трубопроводного транспорта газа. М.: ВНИИГАЗ, 1998. С. 127–135.
12. Вышемирский Е.М., Шипилов А.В., Хоменко В.И., Курочкин А.В. Влияние процесса сварки на внутреннее гладкостное покрытие трубопроводов и оценка допустимой ширины его удаления при сборке труб под сварку // Сварка и Диагностика. 2010. № 5. С. 38–41.
13. Образование «матовых пятен» в соединении, выполненном контактной сваркой / С.И. Кучук-Яценко, Б.И. Казымов, В.Ф. Загадарчук и др. // Автоматическая сварка. 1984. № 11. С. 23–26.
14. Зуев Н.Н., Зуев К.Н., Шевелев Е.М., Дзюба А.М. Автоматические программируемые системы управления электросварочным оборудованием с функциями допускового

контроля, диагностики и визуализации // Компоненты и технологии. 2006. № 9 (62). С. 188–192.

15. Журавлёв С.И., Сударкин А.Я., Сергеев Л.С., Королева А.Б. Технологические возможности оборудования для контактной стыковой сварки с компьютерным управлением // Сварка и Диагностика. 2009. № 3. С. 51–57.

16. Кучук-Яценко С.И., Нейло Ю.С., Гавриш В.С., Гуцин К.В. Перспективы повышения энергетических показателей при контактной стыковой сварке (обзор) // Автоматическая сварка. 2010. № 2. С. 30–35.

17. Инновационная технология сварки магистральных трубопроводов большого диаметра / Н.П. Алешин, М.В. Григорьев, В.И. Хоменко и др. // Сварка и Диагностика. 2012. № 4. С. 39–42.

18. Журавлёв С.И., Коновалов Н.А., Полосков С.И. Концепция физико-математической модели процесса контактной стыковой сварки оплавлением трубопроводов // Сб. трудов XV международной научно-практической конференции «Фундаментальные и прикладные исследования, разработка и применение высоких технологий в промышленности и экономике». СПб.: СПбГТУ, 2013. Т. 2. С. 175–178.

19. Ерофеев В.А. Решение задач оптимизации технологии на основе компьютерного моделирования процесса сварки // Сварочное производство. 2003. № 7. С. 19–26.

20. Suzuki H. Mathematical analysis of the temperature distribution during flash welding. Tokyo: Unyu-gijutsu Kenkyujo, 1954. 57 p.

21. Кархин В.А., Хомич П.Н., Федотов Б.В., Раямяки П. Анализ термических циклов при контактной стыковой сварке стали оплавлением // Сварочное производство. 2008. № 1. С. 12–17.

References

1. Mazur I.I., Ivantsov O.M. *Bezopasnost' truboprovodnykh sistem* [Safety of pipeline systems]. Moscow, Elima publ., 2004. 1104 p.
2. Kuchuk-Iatsenko S.I. *Kontaktnaia stykovaia svarka oplavleniem* [Contact butt welding]. Kiev, Naukova Dumka publ., 1992. 236 p.
3. Komizo Yuichi *Overview of recent welding technology reating to pipeline construction*. Transactions of JWRI. 2008, vol. 37, no. 1, pp. 1–5.
4. Getskin O.B., Vyshemirskii E.M., Shipilov A.V., Poloskov S.I. *Opyt razrabotki i primeneniia sovremennykh otechestvennykh tekhnologii i oborudovaniia dlia avtomaticheskoi orbital'noi svarki magistral'nykh gazoprovodov* [Experience of development and application of modern domestic technologies and equipment for orbital welding of gas lines]. *Svarka i Diagnostika* [Welding and Diagnostics]. 2010, no. 6, pp. 51–57.
5. Chuchkalov M.V., Askarov R.M., Khafizov R.F., Sharafiev R.G. *Otsenka bezopasnosti ekspluatatsii magistral'nykh gazoprovodov bol'shikh diametrov, svarennykh kontaktnoi stykovoii svarkoi*. *Issledovanie mekhanicheskikh svoistv svarnykh soedinenii* [Big diameter gas main lines with contact flash welding joints — assessment of safety of operation and study of weld joints strength properties]. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefii i nefieproduktov* [Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products]. 2008, no. 2, pp. 86–94.
6. Eriksson L., Sundin J. Flash butt welding. Old welding technology-state of art in special applications. *Svetsaren*. 2001, vol. 56, no. 2-3, pp. 58–61.
7. Okamoto T. Electric welding. *The Journal of the Institute of Electrical Engineers of Japan*. 1936, vol. 56, issue 577, pp. 926–935.
8. Ishikava N., Okattsu M., Kondo D. *Razrabotka vysokoprochnykh trub dlia magistral'nykh truboprovodov, rasschitannykh na ekspluatatsiiu v tiazhelykh geologo-klimaticheskikh*

usloviakh [Development of high pressure drop for pipelines, designed for use in harsh climatic conditions geological]. *Nauka i tekhnika v gazovoi promyshlennosti* [Science & Technology in the Gas Industry]. 2009, no. 1, pp. 92–99.

9. Ichiyama Y., Kodama S. Flash-butt welding of high strength steels. *Nippon Steel Technical Report*. 2007, issue 95, pp. 81–87.

10. Doroshenko F. E., Khomenko V. I., Zhuravlyev S. I., Getskin O. B., Galkin V. A. Tekhnologiya udaleniia vneshnego grata svarnykh stykov trub plazmennoi strozhkoi [External Burr Removal Technology of Pipe Butt Ends by Plasma Gouging]. *Svarka i Diagnostika* [Welding and Diagnostics]. 2012, no. 6, pp. 47–50.

11. Sedykh A. D., Belozerov L. G., Gur'ianov V. M. Obosnovanie tselesoobraznosti primeneniia vnutritrubnykh pokrytii dlia magistral'nykh gazoprovodov Rossii [Rationale for the use of in-line coatings for gas pipelines Russia]. *Sovremennye problemy truboprovodnogo transporta gaza* [Modern problems of pipeline gas]. Moscow, VNIIGAZ publ., 1998, pp. 127–135.

12. Vyshemirskii E. M., Shipilov A. V., Khomenko V. I., Kurochkin A. V. Vliianie protsessy svarki na vnutrennee gladkostnoe pokrytie truboprovodov i otsenka dopustimoi shiriny ego udaleniia pri sborke trub pod svarku [Welding influence on internal smooth cover of pipelines and the tolerance width identification of its removing by coupling of pipelines for welding]. *Svarka i Diagnostika* [Welding and Diagnostics]. 2010, no. 5, pp. 38–41.

13. Kuchuk-Iatsenko S. I., Kazymov B. I., Zagadarchuk V. F. Obrazovanie «matovykh piaten» v soedinenii, vypolnennom kontaktnoi svarkoi [Education «opaque spots» in the compound, the contact welding]. *Avtomaticheskaiia svarka* [Automatic Welding]. 1984, no. 11, pp. 23–26.

14. Zuev N. N., Zuev K. N., Shchevelev E. M., Dziuba A. M. Avtomaticheskiiye programmiruemye sistemy upravleniia elektrosvarochnym oborudovaniem s funktsiiami dopuskhnogo kontrolya, diagnostiki i vizualizatsii [Automatic programmable control systems with welding equipment features, the qualification of control, diagnostics and visualization]. *Komponenty i tekhnologii* [Components & Technologies]. 2006, no. 9 (62), pp. 188–192.

15. Zhuravlev S. I., Sudarkin A. Ia., Sergeev L. S., Koroleva A. B. Tekhnologicheskie vozmozhnosti oborudovaniia dlia kontaktnoi stykovoii svarki s komp'iuternym upravleniem [Technological

capabilities of equipment for resistance butt welding with computer control]. *Svarka i Diagnostika* [Welding and Diagnostics]. 2009, no. 3, pp. 51–57.

16. Kuchuk-Iatsenko S. I., Neilo Iu. S., Gavrish V. S., Gushchin K. V. Perspektivy povysheniia energeticheskikh pokazatelei pri kontaktnoi stykovoii svarkke (obzor) [Prospects of Increasing Energy Characteristics of Flash Butt Welding (Review)]. *Avtomaticheskaiia svarka* [The Paton Welding Journal]. 2010, no. 2, pp. 30–35.

17. Aleshin N. P., Grigor'ev M. V., Khomenko V. I., Zhupavlev S. I., Sudapkin A. Ia., Kurochkin A. V., Vyshemirskii E. M., Kuchuk-Iatsenko S. I., Kazymov B. I., Kovalenko M. F. Innovatsionnaia tekhnologiya svarki magistral'nykh truboprovodov bol'shogo diametra [Innovative Welding Technology for Large Diameter Pipelines]. *Svarka i Diagnostika* [Welding and Diagnostics]. 2012, no. 4, pp. 39–42.

18. Zhuravlev S. I., Konovalov N. A., Poloskov S. I. *Kontseptsiiia fiziko-matematicheskoi modeli protsessy kontaktnoi stykovoii svarki oplavlaniem truboprovodov* [Concept of Physical and Mathematical Models of Contact Flash-Butt Welding Process of Pipelines]. *Sbornik statei 15 mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Fundamental'nye i prikladnye issledovaniia, razrabotka i primeneniie vysokikh tekhnologii v promyshlennosti i ekonomike»* [Collection of articles Fifteenth International scientific-practical conference «Fundamental and applied research, development and application of high technology in the industry and the economy»]. Saint Petersburg, SPbGTU publ., 2013, vol. 2, pp. 175–178.

19. Erofeev V. A. Reshenie zadach optimizatsii tekhnologii na osnove komp'iuternogo modelirovaniia protsessy svarki [Problem solving optimization technology based on computer modeling of the welding process]. *Svarochnoe proizvodstvo* [Welding International]. 2003, no. 7, pp. 19–26.

20. Suzuki H. *Mathematical analysis of the temperature distribution during flash welding*. Tokyo, Unyu-gijutsu Kenkyujo, 1954. 57 p.

21. Karkhin V. A., Khomich P. N., Fedotov B. V., Raiamiaki P. Analiz termicheskikh tsiklov pri kontaktnoi stykovoii svarkke stali oplavlaniem [Analysis of thermal cycles with butt fusion welding of steel]. *Svarochnoe proizvodstvo* [Welding International]. 2008, no. 1, pp. 12–17.

Статья поступила в редакцию 13.05.2013

Информация об авторе

ЖУРАВЛЁВ Сергей Иванович (Псков) — Генеральный директор ЗАО «Псковэлектросвар» (180022, Российская Федерация, Псков, ул. Новаторов, д. 3, e-mail: si.zhuravlev@yandex.ru).

Information about the author

ZHURAVLEV Sergey Ivanovich (Pskov) — General Director of CJSC «Pskovelectrosvar» (Novatorov str., 3, 180022, Pskov, Russian Federation, e-mail: si.zhuravlev@yandex.ru).