

УДК 621.791.753.5-52

Е.О. Стеклова, старший научный сотрудник лаборатории сварки и контроля, ООО «Газпром ВНИИГАЗ»;
А.А. Чуларис, д.т.н., профессор ДГТУ; **Е.Н. Варуха**, д.т.н., профессор ДГТУ, директор ОАО «ЭККОС»

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА СОВМЕСТИМОСТИ МАТЕРИАЛОВ НАПЛАВКИ, ВЫПОЛНЕННОЙ ЛЕНТОЧНЫМ ЭЛЕКТРОДОМ ПОД ФЛЮСОМ, С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА ТЕРМО-ЭДС

В статье представлены результаты исследований ремонтной наплавки, выполненной сплошным ленточным холоднокатаным электродом под флюсом на низколегированную кремнемарганцовистую сталь класса прочности K56. На основе проведенного комплексного металлофизического исследования, включающего метод термо-ЭДС, показана возможность применения ленточной наплавки для повышения эффективности выполнения ремонтных работ.

Ключевые слова: ремонтная наплавка, ленточный электрод, металлографические исследования, метод термо-ЭДС.

На основе анализа дефектности, возникающей в процессе эксплуатации магистральных газопроводов, методом внутритрубной диагностики выявлено более 1 млн дефектов, в т.ч. с критическими размерами, которые могут вызвать аварийное разрушение газопровода. Поэтому актуальными задачами являются как обнаружение, так и своевременное исправление этих дефектов [1]. Одним из методов предотвращения разрушения трубопроводов с дефектами потери массы, в т.ч. коррозионных разрушений, является ремонт участков газопроводов с предварительной локальной выборкой дефектов и последующей наплавкой этих участков. В настоящее время технологии сварки (наплавки) при ремонте участков труб и сварных соединений магистральных газопроводов с недопустимыми дефектами регламентируются нормативными документами ОАО «Газпром»: СТО Газпром 2-2.3-137-2007, СТО Газпром 2-2.2-360-2009, СТО Газпром 2-2.2-649-2012, Р Газпром 2-2.3-650-2012, СТО Газпром 2-2.3-425-2010. Среди методов наплавки ремонтных зон в этих нормативных документах предусмотрены:

- ручная дуговая сварка (наплавка) покрытыми электродами с основным видом покрытия;
- механизированная сварка плавящимся электродом в защитных газах с применением проволок как сплошного сечения, так и порошковых;
- автоматическая наплавка проволокой сплошного сечения.

Наплавка ленточным электродом в данных нормативных документах не отражена и в качестве штатной не применялась. Это обусловлено прежде всего допустимостью ремонтной наплавки только мест трубопровода с остаточной толщиной стенки в месте наплавки не менее 5 мм. Применение способов наплавки, характеризующихся повышенной плотностью тока (например, сварочной проволокой под слоем флюса) весьма ограничено, чтобы исключить сквозное проплавление и перегрев тела трубы с остаточной толщиной стенки 5 мм. Необходимость заполнения предварительно разделанного места дефекта требует выполнения наплавки на режимах, обеспечивающих либо повышенные коэффициенты наплавки, либо многослойную наплавку, что

увеличивает вероятность перегревов ремонтируемого участка и усиление как химической, так и фазово-структурной и связанной с ними механической неоднородности в зоне ремонта. Поэтому в работе была предпринята попытка недопущения перечисленных недостатков путем применения электродуговой наплавки стальной лентой сплошного сечения под слом флюса.

Применение ленточного электрода, кроме указанного выше, позволяет повысить производительность процесса наплавки при ремонте, исключить влияние человеческого фактора на качество производства работ за счет автоматизации, что приведет к повышению эффективности ремонта магистральных газопроводов с применением сварочных технологий и обеспечению надежности отремонтированных участков.

В данной работе наплавка осуществлялась на опытно-экспериментальной установке, выполненной на базе сварочного трактора ТС-17М, приспособленного для наплавки электродной лентой, и выпрямителя для дуговой сварки ВДУ-1250 УЗ. Базирование трактора на трубе над местом наплавки осуществляли с



Рис. 1. Зона с ремонтной наплавкой (глубина выборки – 3 мм)

помощью накладной рамы, уголки которой служили направляющими для колес трактора. Рама закреплялась на трубе с помощью стальных ленточных стяжек. Наплавку выполняли сплошным ленточным холоднокатаным электродом шириной 20 мм и толщиной 0,7 мм из стали марки Св-08 с защитой места наплавки флюсом ОК Flux 10.71 на режиме: сварочный ток – 450–500 А; напряжение дуги – 28–29 В; скорость сварки – 0,6 м/мин., по выборке глубиной 3 мм (рис. 1).

Наплавка на указанных режимах позволила получить требуемое сечение наплавленных валиков и гарантированное сплавление наплавленного слоя с трубой и между ранее наплавленными валиками. Поверхностные дефекты на наплавленных валиках отсутствовали. Для определения свойств наплавленного металла был проведен комплекс механических испытаний и исследований физико-химических характеристик, в т.ч. с определением термо-ЭДС в зоне наплавки по разработанной ранее комплексной методике [2, 3].

Металлографические исследования проводились на макрошлифе участков наплавленного металла образца с наплавкой (рис. 2), вырезанного из

фрагмента отремонтированной трубы на полированных участках при шероховатости поверхности $R_a \leq 1,25 \text{ мкм}$ ($\nabla 7$) по ГОСТ 2789-73. При этом заготовки макрошлифов последовательно шлифовали, полировали, протравливали для выявления макро- и микроструктуры специальными химическими травителями. Затем производилось их исследование в стационарных условиях на оптическом микроскопе MEIJI techno IM7100 при увеличении 100, 250 крат, а также измерения микротвердости на микротвердометре ПМТ-3, измерения твердости по Виккерсу – на твердометре Виккерса при нагрузке 10 кгс в соответствии с ГОСТ 5640-68, ГОСТ 5639-82, ГОСТ 8233-56, ГОСТ 10243-75. Изучение нетравленных макрошлифов показало отсутствие пор, несплавлений с основным металлом и отдельных валиков между собой, зашлаковок и других дефектов. Измеренные краевые углы смачивания имели малую величину от 30 до 45 град., что свидетельствует о хорошем смачивании расплавом электродной ленты основного металла и ранее наплавленных валиков, обеспечивая минимальные западания между валиками (менее 1 мм) и слабо выраженную чешуйчатость наплавленных валиков (рис. 2). Травление макрошлифа водным раствором хлорного железа позволило выявить конфигурацию и параметры наплавленного слоя. Установлено, что глубина проплавления основного металла колебалась в пределах от 1 до 3 мм. После переполитовки шлифовали 5%-ным спиртовым раствором азотной кислоты с несколькими каплями соляной для выявления его микроструктуры. По результатам металлографических исследований было



Рис. 2. Макрошлиф образца, наплавленного сваркой под флюсом, x2


определено содержание перлита и феррита в различных зонах наплавленного и основного металла (табл. 1.). Результаты измерений макротвердости наплавленного сечения показали плавное изменение твердости наплавленного и основного металла через зону сплавления в пределах от 160 до 200 единиц. Проверка однородности выборки вариационного ряда величин твердости по критерию Н.В. Смирнова [4] о состоятельности нулевой гипотезы показала, что ни минимальное, ни максимальное значения не являются промахами или ошибками измерения и принадлежат вариационному ряду при всех принятых уровнях значимости. Этот факт свидетельствует об отсутствии зон разупрочнения, подкалки и охрупчивания в поперечном сечении наплавленного образца, что обеспечит нормальную работоспособность трубопровода с отремонтированным участком.

Результаты измерения макротвердости (HV10) наплавленного и основного металла представлены в таблице 2. Измерения микротвердости на микротвердометре ПМТ-3 методом восстановленного отпечатка от вдавливания индентора в виде алмазной пирамидки с

Таблица 1. Содержание перлита и феррита в образце с наплавкой

Параметр	Зона образца					
	Наплавленный металл		Зона термического влияния и граница сплавления		Основной металл	
		Фото структуры		Фото структуры		Фото структуры
Число проанализированных полей	4		4		4	
Контролируемая площадь, мм ²	4,962		5,043		4,885	
Доля перлита, %	7		5		0	
Погрешность определения доли перлита, %	0,8		1,5		0,1	
Доля феррита, %	93		95		100	
Погрешность определения доли феррита, %	6,6		9,6		8,0	
Границы погрешности (при p=0,95)	0,189	1,492	0,115			

Таблица 2. Результаты измерений макротвердости (HV10)

№ измерения																			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Наплавленный металл – шаг 500 мкм										ЗТВ – шаг 500 мкм				Основной металл – шаг 0,5–1 мм					
176	192	174	161	173	160	161	151	165	168	186	199	188	188	202	198	197	202	194	195
Изображение участка замера твердости																			
																			

углом при вершине 136 град. выполняли в соответствии со схемой, представленной на рисунке 3.

Результаты измерений микротвердости (HV0,01) приведены в таблице 3.

Полученные данные свидетельствуют о некотором повышении средней микротвердости: наплавленного металла – до 175,1 кгс/мм² при размахе значений микротвердости от 146,5 до 216,7 кгс/мм²; зоны сплавления – до 148,3 кгс/мм² при размахе значений до 118,7 до 160,4 кгс/мм²; основного металла – до 157,7 кгс/мм² при размахе значений от 134,3 до 185,4 кгс/мм².

Видимое различие микротвердости исследованных зон объясняется влиянием нескольких факторов. Во-первых, несмотря на схожий характер структурных выделений, они формируются в различных температурно-временных условиях. Во-вторых, формирование наплавленного металла происходит в результате дендритной кристаллизации с образованием 93% феррита и 7% перлита с размерами выделений на баллы, отличающимися от выделений в остальных зонах. В-третьих, в зоне термического влияния происходит процесс перекристаллизации. Поэтому она содержит 95% феррита и

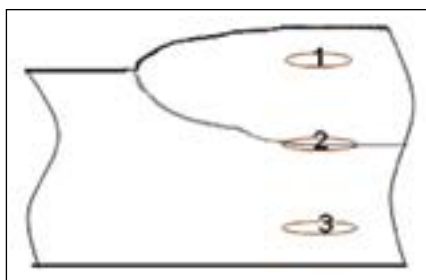


Рис. 3. Схема измерений микротвердости на образце, выполненном по технологии электродуговой наплавки ленточным электродом под слоем флюса: 1 – наплавленный металл; 2 – зона сплавления; 3 – основной металл

5% перлита более дисперсных, чем в наплавленном металле. И в-четвертых, зона основного металла почти полностью наследует ферритную структуру со следами прокатки. Вследствие того, что в наплавленном металле объем перлитных образований больше, чем в других исследованных зонах соединения, значение твердости на данном участке выше.

Анализ химического состава наплавленного и основного металла проводился с использованием портативного анализатора и сортировщика металлов и сплавов Arc-Met 8000. Химический

состав исследованных образцов приведен в таблице 4.

Сравнительный поэлементный анализ данных химического состава наплавленного металла позволяет сделать вывод, что он соответствует стали 09Г2С. Химический состав основного металла образцов трубы соответствует стали 17Г1С. И наплавленный, и основной металл относятся к низколегированному классу кремнемарганцовистых сталей класса прочности К52 и К56.

Для экспресс-оценки совместимости металла ремонтной зоны с основным металлом показатели твердости и химического состава являются недостаточными, особенно если рассматривать работоспособность трубопроводов с учетом их коррозионной стойкости при условиях длительного контакта с транспортируемым сырьем и другими факторами жизненного цикла трубопровода. Более объективную информацию об электрохимической активности можно получить путем сравнительной оценки термопотенциалов любой зоны сварного соединения. Локальность метода термо-ЭДС позволяет выявлять тонкости структуры и химической неоднородности анализируемых участков сварного соединения одновременно.

Таблица 3. Результаты измерений микротвердости (HV0,01)

Область	№ измерения															Характерное значение
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Наплавленный металл	146,5	153,2	160,4	168,2	160,4	176,5	160,4	216,7	153,2	216,7	205,4	176,5	176,5	160,4	195,0	175,1
Зона сплавления	146,5	153,2	146,5	146,5	160,4	146,5	146,5	160,4	118,7	160,4	146,5	153,2	153,2	146,5	140,2	148,3
Основной металл	134,3	153,2	140,2	160,4	168,2	185,4	140,2	160,4	153,2	185,4	168,2	160,4	168,2	134,3	153,2	157,7

Таблица 4. Результаты химического анализа фрагментов труб

Материал	Основные химические элементы, %															
	Fe	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Cu	Al	V	W	Ti	Nb	B	S	P
Наплавленный металл	97,9	0,086	0,509	1,319	0,067	0,054	0,029	0,103	0,010	0,019	0	0,003	0	0	0,032	0,031
Основной металл	97,5	0,199	0,544	1,402	0,148	0,092	0,048	0,111	0,007	0,007	0	0,010	0	0	0,03	0,009
09Г2С по ГОСТ 19281-89	–	≤0,12	0,5–0,8	1,3–1,7	≤0,3	≤0,3	–	≤0,3	–	–	–	–	–	–	0,04	0,035
17Г1С по ГОСТ 19281-89	–	0,15–0,20	0,4–0,6	1,15–1,6	≤0,3	≤0,3	–	≤0,3	–	–	–	–	–	–	0,04	0,035

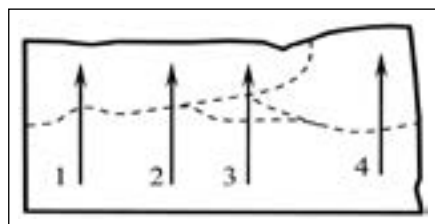


Рис. 4. Схема измерения термо-ЭДС различных зон образца с наплавкой: 1–4 – номера измерений по порядку

Измерения термо-ЭДС проводили с помощью разработанного комплекса [2, 3] на поперечном микрошлифе образца – от основного металла к наплавленному по схеме, приведенной на рисунке 4. В исследование входило сопоставление результатов определения термо-ЭДС с анализом химического состава, металлографии и механических характеристик. Результаты измерений термо-ЭДС образца с наплавкой представлены на рисунке 5. Как показано на рисунке 5, наплавленный слой и основной металл имеют сравнительно равномерное распределение величин термо-ЭДС, что свидетельствует о близости химического состава вследствие перемешивания основного и присадочного наплавляемого металла и

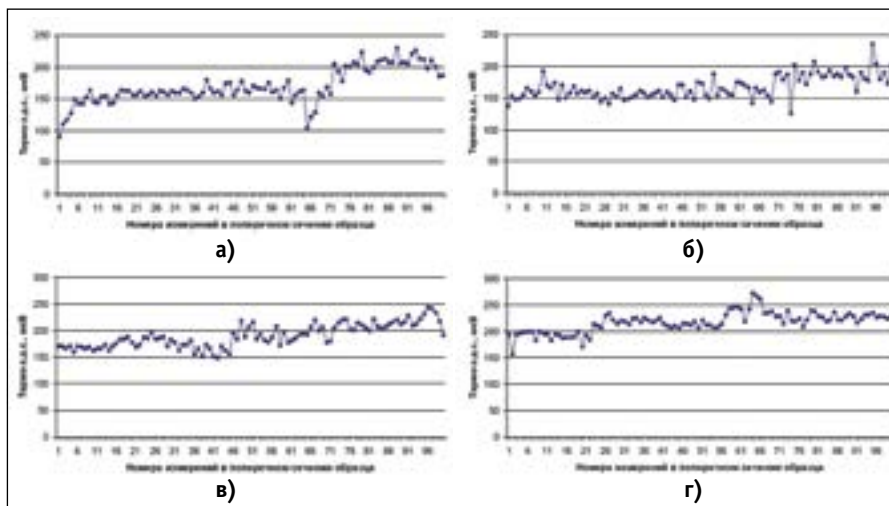


Рис. 5. Диаграммы измерения термо-ЭДС в образце с наплавкой: а–г – измерения 1–4 – области перехода от основного металла к наплавке

применения рациональных параметров режима наплавки. Таким образом, метод термо-ЭДС позволяет эффективно и комплексно оценивать свойства основного и наплавленного металла и степень их совместности при ремонте дефектных участков трубопроводов.

Литература:

1. Варламов Д.П. Мониторинг дефектности и прогноз состояния магистральных газопроводов России / Д.П. Варламов, В.А.

Канайкин, А.Ф. Матвиенко, О.И. Стеклов. – Екатеринбург: ООО «УИПЦ», 2012. – 245 с.
 2. Стеклова Е.О. Оценка структурного состояния и неоднородности сварных соединений трубных сталей методом термо-ЭДС / Е.О. Стеклова, Л.А. Ефименко // Территория «НЕФТЕГАЗ». – 2007. – № 4. – С. 34–39.
 3. Стеклова Е.О. Исследование биметаллических соединений методом термо-ЭДС / Е.О. Стеклова, С.Л. Ким, С.Д. Соловьев и др. // Сварочное производство. – 2010. – № 3. – С. 15-18.
 4. Степнов М.Н. Статистические методы обработки результатов механических испытаний: Справочник. – М.: Машиностроение, 1985. – 232 с.

Welding

Ye.O. Steklova, Senior Scientific Researcher of the welding and control laboratory, Gazprom VNIIGAZ LLC; A.A. Chularis, Doctor of Engineering, professor of Don State Technical University; Ye.N. Varukha, Doctor of Engineering, professor of Don State Technical University, Director of EKOS JSC

Integrated assessment of materials compatibility of welding performed by unmerged strip electrode using thermal EMF method

The examination results of repair welding performed by submerged solid strip cold-rolled electrode on low-alloyed silicon manganese steel of strength class K52 are presented in the article. On the basis of integrated metal physical study conducted, including thermal EMF method, the possibility to use strip welding to increase efficiency of repair works performance was demonstrated.

Keywords: repair welding, strip electrode, metallographic examinations, thermal EMF method.

References:

1. Varlamov D.P. Monitoring defektnosti i prognoz sostoyaniya magistral'nykh gazoprovodov Rossii (Monitoring of defects presence and forecast of the main gas pipelines condition of Russia) / D.P. Varlamov, V.A. Kanaykin, A.F. Matvienko, O.I. Steklov. – Yekaterinburg: UIPTs LLC, 2012. – 245 p.
 2. Steklova Ye.O. Otsenka strukturnogo sostoyaniya i neodnorodnosti svarnykh soedineniy trubnykh staley metodom termo-EDS (Assessment of structural condition and inhomogeneity of pipe steels welded joints using thermal EMF method) / Ye.O. Steklova, L.A. Efimenko // NEFTEGAS Territory. – 2007. – No. 4. – P. 34–39.
 3. Steklova Ye.O. Issledovanie bimetallicheskikh soedineniy metodom termo-EDS (Examination of bimetallic joints using thermal EMF method) / Ye.O. Steklova, S.L. Kim, S.D. Solovyev et al. // Welding industry. – 2010. – No. 3. – P. 15–18.
 4. Stepnov M.N. Statisticheskie metody obrabotki rezul'tatov mekhanicheskikh ispytaniy (Statistical methods for mechanical tests results processing): Reference book. – Moscow: Mashinostroyeniye, 1985. – 232 p.

СПОНСОР:

OLYMPUS

Your Vision, Our Future

КОНФЕРЕНЦИЯ ВЫСТАВКА

Территория

NDT

МОСКВА 2014

20-я ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО НК ВЫСТАВКА «ТЕРРИТОРИЯ NDT»

Организатор	Российское общество по неразрушающему контролю и технической диагностике (РОНКТД)
Конференция	Техногенная диагностика Антитеррористическая диагностика Экологическая диагностика Сертификация персонала, стандартизация и метрология <i>Прием тезисов докладов до 15.01.2014</i>
Выставка	Площадь 7 000 кв. м Полигон для испытаний Площадка для крупногабаритной техники Скидки для партнеров РОНКТД <i>Актуальный список экспонентов, среди которых компании из России, СНГ и зарубежных стран, Вы можете посмотреть на сайте www.expo.ronktd.ru</i>
Деловая программа	Круглые столы по применению методов и средств НК в следующих отраслях: <ul style="list-style-type: none">• Нефтегаз• Авиация и Космос• ЖКХ и строительство• Энергетика• Железнодорожный транспорт• Металлургия / Машиностроение• Техническая диагностика <i>Модераторы круглых столов: ООО «МНПО «Спектр»; ООО «Энергодиагностика»; ЗАО НПЦ «Молния»; «СертиНК» ФГАУ НУЦ «Сварка и Контроль»; ООО НПЦ «Кропус»; «ИКЦ СЭКТ»; Ижевский ГТУ; ООО «Себа Спектрум»; «НИИ мостов и дефектоскопии»; НПП «Промприбор»</i>

3 - 6 МАРТА 2014, «ЭКСПОЦЕНТР» НА КРАСНОЙ ПРЕСНЕ