

производств, испытательных подразделений и систем контроля качества выпускаемой продукции.

Правильное понимание необходимости и важности целей и задач метрологического обеспечения продукции на всех стадиях ее жизненного цикла позволяет организовать надлежащее метрологическое обеспечение создаваемой, выпускаемой и эксплуатирующей продукции, без чего нельзя добиться высокого качества этой продукции, ее надежности, долговечности и конкурентоспособности, как на внутреннем, так и на внешнем рынке.

Соблюдение всех этих требований в организации современного метрологического обеспечения производства можно добиваться путем проведение работ по постоянному повышению квалификации специалистов, участвовавших в процессах измерений способствующих метрологическому обеспечению производства.

Список литературы

1. *Авлиякулов Н. Н.* Метрологическое обеспечение производства в нефтегазовой отрасли: учебное пособие / Н. Н. Авлиякулов. Ташкент: Фан ва технологиялар, 2013. 340 с.

2. *Грибанов Д. Д.* Основы метрологии: учебник / Д. Д. Грибанов, С. А. Зайцев, А. В. Митрофанов. Москва: «МАМИ», 1999. 184 с.

УДК 621.791.947.55.03:006.85

С. В. Анахов, А. Д. Ивлиев, Г. В. Харина

S. V. Anakhov, A. D. Ivliev, G. V. Kharina

ФГАОУ ВО «Российский государственный профессионально-педагогический университет», Екатеринбург

Russian State Vocational Pedagogical University, Ekaterinburg

sergej.anahov@rsvpu.ru, gvkharina32@yandex.ru, ad_i48@mail.ru

ТЕХНОЛОГИЯ УЗКОСТРУЙНОЙ ПЛАЗМЫ – ПУТЬ К НОВЫМ СТАНДАРТАМ НА ПРОИЗВОДСТВО СВАРОЧНЫХ РАБОТ*¹

NARROW-JET PLASMA TECHNOLOGY – THE WAY TO NEW STANDARDS ON WELDING PRODUCTION

Аннотация. Показана возможность изменения отраслевых стандартов на производство сварных соединений, так как качество сварных швов, полученных после плазменной резки по технологии узкоструйной плазмы без удаления зон термического влияния не уступает показателям, достигаемым после механической разделки.

*Статья опубликована при поддержке государственного задания Минобрнауки РФ № 13.10317.2018/11.12

Abstract. *The possibility of changing the industry standards for the production of welded joints is shown, since the quality of welds obtained after plasma cutting using the technology of narrow-jet plasma without removing the zones of thermal influence is not inferior to the indicators achieved after mechanical cutting.*

Ключевые слова: *плазматрон; проектирование; сварной шов; зона термического влияния; структурные превращения; дефекты; качество; эффективность.*

Keywords: *plasmatron; design; welding seams; heat-affected zone; structure transformation; defects, quality; efficiency.*

Одно из основных применений плазменной резки металлов – разделка труб и листового металлопроката для последующего производства сварных соединений. Подобные операции, как правило, сопровождаются механической обработкой поверхностей разделочных швов. Такие требования содержатся, например, в СТО Газпром 2-2.2-136-2007 (Инструкция по технологиям сварки при строительстве и ремонте промышленных и магистральных газопроводов) [1], который устанавливает требования к сварным соединениям, к порядку выполнения сборочно-сварочных работ, применению сварочных материалов и сварочного оборудования при строительстве, реконструкции и капитальном ремонте промышленных и магистральных газопроводов. Согласно этому стандарту механическим способом устраняются дефекты наружной поверхности концов труб (риски, продиры, царапины), размеры которых превышают предельно допустимые по специальным ТУ и ГОСТ, таким образом, чтобы шероховатость поверхности после шлифовки должна быть не более Rz40. В случае резки труб с применением оборудования механизированной орбитальной газовой или воздушно-плазменной резки СТО требует производить последующую механическую обработку резаных торцов труб станком подготовки кромок или шлифмашинками до требуемой разделки, при этом металл резаных торцов должен быть предварительно сошлифован механической обработкой шлифмашинками на глубину от 0,5 до 1,0 мм. Похожие требования устанавливает и РД 153-006-02 ОАО «ТРАНСНЕФТЬ» (Инструкция по технологии сварки при строительстве и капитальном ремонте магистральных нефтепроводов). Этими стандартами устанавливается и процедура первичной аттестации сварных соединений, включающая в себя следующие виды механических испытаний – на статическое растяжение; на статический и ударный изгиб. Вырезку темплетов для испытаний следует производить с учетом припуска на величину заготовки, при котором обеспечивается отсутствие в рабочей части образца металла с измененными в результате резки свойствами. Величина припуска должна составлять не менее 5 мм – при кислородной или плазменной резке; не менее 3 мм – при механической резке.

Фактически, соблюдение описанных требований должно обеспечить качественную сварку разделочных швов, в которых отсутствуют неизбежно образующиеся в приповерхностных слоях зоны термического влияния (ЗТВ). Следует, однако, заметить, что большинство подобных стандартов имеют более чем 10-летнюю давность, в то время как именно за последние 10 лет в технологиях плазменной резки произошли существенные изменения, связанные, в первую очередь, с появлением технологии, так называемой «точной» или «сжатой плазмы» (продукция фирм Kjellberg, Hypertherm и MesserGreisheim), а в отечественном исполнении получившей название «узкоструйной плазмы». В основе данной технологии лежит принцип двойного вихревого обжатия дуги за счет распределения плазмообразующего газа на два потока – формирующий струю и стабилизирующий дугу по принципу двойного сопла. За счет интенсивного охлаждения столба дуги вторичным фокусирующим потоком газа при удалении от сопла диаметр столба дуги уменьшается с возрастанием концентрации плазменного потока. В результате при сравнительно малой скорости истечения появляется возможность получить остроконечную плазменную дугу при малых токах, а, следовательно, уменьшить величину ЗТВ за счет снижения тепловложения в металл. Плазмотроны подобного типа в России разработаны в ООО НПО «Полигон» и имеют номенклатуру ПМВР-5 (в различных модификациях – рисунок 1).

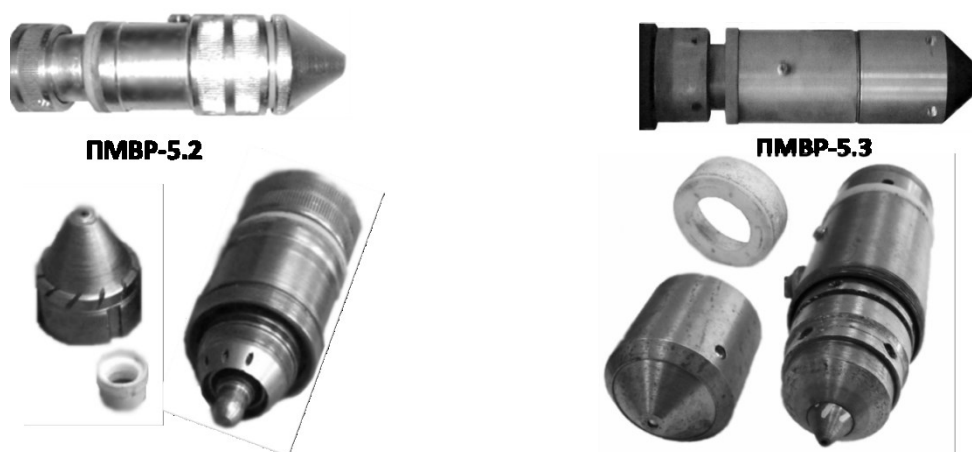


Рисунок 1 – Узкоструйные двухпоточные плазмотроны

В связи с тем, что применение операции механической обработки поверхности разделочных швов существенно увеличивает энерго- и материалоемкость, продолжительность, а, следовательно и себестоимость технологии производства сварных соединений в целях повышения эффективности сварочных технологий актуальной задачей становится разработка и внедрение плазмотронов, позволяющих производить резку металлов под сварку без последующей процедуры механического удаления зон термического влияния. Для обоснования подобной возможности был выполнен комплекс сравни-

тельных исследований, связанных с определением влияния конструкций ряда отечественных и импортных плазматронов на эксплуатационные свойства полученных после резки сварных соединений.

Исследования были проведены на стали 09Г2С толщиной 10 мм. Резка под сварку производилась с разделкой кромок под углом 60° (режимы резки – в таблице 1). После резки и подготовки шва без удаления ЗТВ поверхностей реза производилась его механизированная сварка с использованием сварочной омедненной проволоки ОК-Autrod 12.51 (аналог 1,2 Св-08Г2С-О) в защитном газе К18 (18 % CO₂, 82 % Ar). Сварку контрольных пластин выполняли согласно требованиям, представленным в РД 153-006-02 и СТО Газпром 2-2.2-136-2007. Режимы сварки – 17 В, 120 А (1-й проход, корень шва), 19 В, 150 А (2-й проход, заполняющий), 19 В, 150 А (3-й проход, лицевой). Предварительно разделанные плазменной резкой кромки шва сваривались механизированным образом на инверторном источнике питания Шторм-Лорх S5 без удаления ЗТВ по аналогичной технологии. Испытания сварных швов проводились в соответствии с нормативными документами, регламентирующими проведение сварочных работ при изготовлении трубопроводов – РД 26-11-08-86 и РД 153-006-02, а также ГОСТ 6996-66. Испытания на статическое растяжение были проведены в ЦЗЛ ПАО «Уралмашзавод», микроструктурные исследования, а также испытания на статический и ударный изгиб в зоне сварного шва и ЗТВ – в ИМАШ УрО РАН.

Таблица 1

Режимы резки образцов под сварку

№ серии	Плазмотрон	Режим резки				
		Ø, мм	I, А	U, В	V, м/мин.	P, МПа
1	ПМВР-М	2,5	105	200	0,54	0,45
2	Kjellberg S-45	1,4	90	140	0,85	0,5
3	Механическая резка	–	–	–	–	–
4	ПМВР-2М	2	80	180	0,5	0,5
5	ПМВР-5.3	1,6	90	140	1,3	0,5

Примечание: Ø – диаметр сопла, V – скорость резки, P – давление плазмообразующего газа (ПОГ) на входе в плазмотрон.

Как показали исследования, величина зоны термического влияния при резке узкоструйным плазмотроном ПМВР-5.3 составляет до 500 мкм для всех образцов. Результаты замеров твердости образцов, полученных при резке по технологии узкоструйной плазмы, свидетельствует о том, что небольшое отклонение от требований СТО Газпром 2-2.4-083 ($HV \leq 300$ для ЗТВ) наблюдается лишь в поверхностной зоне на глубинах менее 100–150 мкм, что поз-

воляет при дальнейшем использовании полученных после резки швов под сварку не производить дополнительные операции по её механическому удалению. Кроме того, было установлено, что показатели прочности и пластичности сварных швов, полученных после разделки проката с применением плазменных методов без удаления ЗТВ, удовлетворяют нормативным требованиям, предъявляемым к сварным соединениям и, в случае применения новых плазмотронов, сопоставимы со значениями, достигаемыми при подготовке кромок под сварку механическим способом (рисунок 2). В процессе эксперимента на большинстве образцов разрыв происходил не в области сварного шва, а по основному металлу, что свидетельствует о более высоких значениях прочности сварного шва.

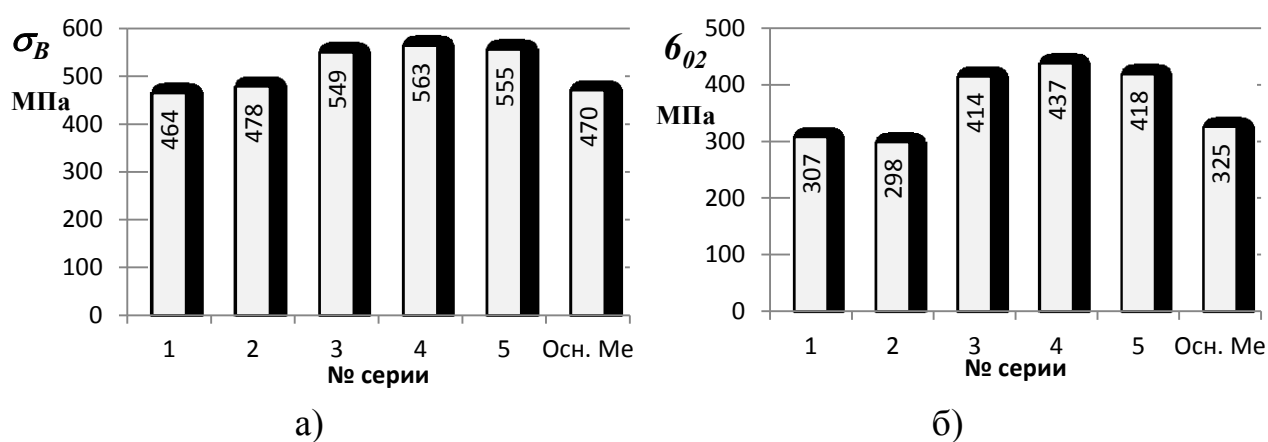


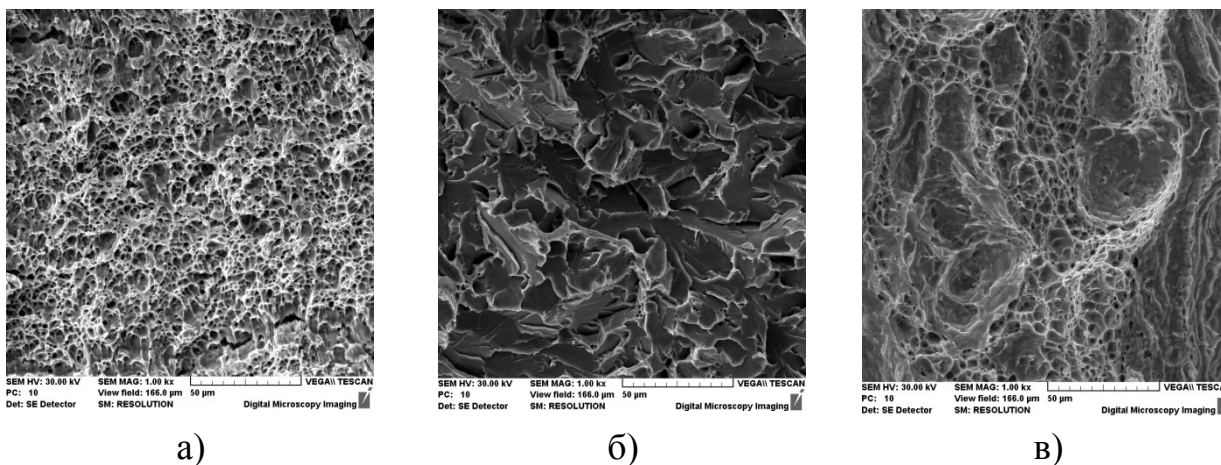
Рисунок 2 – Анализ прочности и пластичности сварных швов после плазменной резки:

а) временное сопротивление разрыву, б) предел текучести условный

Результаты проведенных испытаний плоских образцов со сварным швом на статический изгиб свидетельствует об отсутствии значимых различий в величинах определяемого по ГОСТ 6996 угла загиба ($91,5-94,0^\circ$) для различных серий образцов, значения которого не превышают нормативных требований ($\alpha_{\min} \geq 80^\circ$ по стандарту ПБ 03-576-03). Кроме того, фактически отсутствуют отличия и в характере реакции исследуемых образцов на нагрузку (в области перехода от упругой к пластической деформации).

Результаты испытаний образцов на ударную вязкость по сварному шву и ЗТВ показали превышение значений KCV^{+20} по сравнению со значениями, характерными для основного металла, а также существенное превышение нижнего порога нормативных требований, предъявляемых к основному металлу. В зонах термического влияния меньше всего по величинам KCV от значений основного металла отличаются образцы, полученные после резки новыми плазмотронами. Данные фрактографического анализа подтверждают сделанные по диаграммам разрушения выводы, что в области сварного шва,

как правило, наблюдается хрупко-вязкий излом (доля вязкой составляющей $\varepsilon = 55 \div 70 \%$), а в области ЗТВ преобладает вязкое разрушение ($\varepsilon \geq 70 \%$). Сварные соединения, полученные после резки новыми плазмотронами (рисунок 3), имеют, в целом, более высокие значения доли вязкого излома ($\varepsilon = 60 \div 65 \%$ в СШ), чем при резке базовым плазмотроном ПМВР-М и плазмотроном Kjellberg S-45 ($\varepsilon = 55 \div 60 \%$), близкие по значениям к показателям, достигаемым после механической резки ($\varepsilon = 70 \%$).



а) б) в)

Рисунок 3 – Фото изломов образцов (№ 5 – ПМВР-5.2)

после испытаний на ударную вязкость:

- а) вязкий излом в зоне сварного шва (СШ) с $\varepsilon = 60 \%$,
 б) смешанный излом в СШ с $\varepsilon = 60 \%$, в) смешанный излом в ЗТВ $\varepsilon = 80 \%$

Анализ результатов измерений твердости показал соответствие всех исследованных образцов требованиям СТО Газпром 2-2.4-083 ($HV_{10} \leq 255$ для металла шва и $HV_{10} \leq 300$ для ЗТВ). При этом наиболее качественные (по показателям отличия от средних значений и твердости основного металла) швы достигнуты при сварке образцов, полученных резкой новыми узкоструйными плазмотронами типа ПМВР-5.3. Значения твердости по высоте сварных швов, полученных по режимам № 4 и 5, практически одинаковы, что позволяет ожидать равную прочность материала этих соединений по всей ширине пластины. Качество данных швов по показателям твердости не уступает показателям, достигаемым после механической резки.

Результаты исследования свойств сварных соединений свидетельствуют о возможности подготовки заготовок под сварку без предварительного механического удаления слоя металла кромки реза за счет применения ряда модернизированных и новых отечественных плазмотронов. Для внесения изменений в отраслевые стандарты требуется проведение широкомасштабных исследований на сталях различного сортамента и разных толщин.

Список литературы

1. *СТО Газпром 2–2.2–136–2007*. Инструкция по технологиям сварки при строительстве и ремонте промышленных и магистральных газопроводов [Электронный ресурс]. Введен 2007–09–22 // Библиотека ГОСТов, стандартов и нормативов. Режим доступа: <http://www.infosait.ru>.
2. *РД 153–006–02*. Инструкция по технологии сварки при строительстве и капитальном ремонте магистральных нефтепроводов [Электронный ресурс]. Введен 2002–04–30 // Информационная система «МЕГАНОРМ». Режим доступа: <https://meganorm.ru>.
3. *Anakhov S. V. Narrow Jet Plasma as the Energy Efficient and Safe Technology for Metal Cutting / S. V. Anakhov, Yu. A. Pykin, A. V. Matushkin // Solid State Phenomena (Material Science Forum)*. 2016. Vol. 870. P. 523-527.
4. *Анахов С. В. Об эффективности применения плазменных технологий в разделке трубного проката / Ю. А. Пыкин, С. В. Анахов, И. Ю. Пышминцев, Д. В. Овчинников, В. А. Елькин // Производство проката*. 2014. № 1. С. 38-45.

УДК 371.694:[681.5.08:53.089.6]

Е. А. Бирюкова, А. А. Козлова, Г. Н. Мигачева

E. A. Biryukova, A. A. Kozlova, G. N. Migacheva

ФГАОУ ВО «Российский государственный профессионально-педагогический университет», Екатеринбург

Russian State Vocational Pedagogical University, Ekaterinburg

lena.biriuckova2016@yandex.ru, a-koza12@yandex.ru, galnic42@gmail.com

РАЗРАБОТКА ПРОЦЕССА КАЛИБРОВКИ ЩУПА НА УЧЕБНОЙ КООРДИНАТНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ МАШИНЕ С ЧИСЛОВЫМ ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ МОДЕЛИ НИИК-701

DEVELOPMENT OF THE PROCESS OF CALIBRATION OF A PROBE ON THE TRAINING COORDINATE MEASURING MACHINE WITH COMPUTER NUMERICAL CONTROL OF MODEL NIIC-701

***Аннотация.** Координатные измерения применяются в различных областях производства. Функции учебных координатно-измерительных машин позволяют обучающимся получить практические навыки работы в условиях современного производства при измерениях. В статье рассмотрен процесс калибровки щупа на учебной координатно-измерительной машине с числовым программным управлением НИИК-701.*

***Abstract.** Coordinate measurements are used in various areas of manufacture. The functions of training coordinate measuring machines allow students to gain practical skills in modern manufacture in measurements. The article describes the process of calibration of the probe on the training coordinate measuring machine with computer numerical control of model NIIC-701.*