

# КАК КОНТРОЛИРОВАТЬ ГРАТ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПЭ ТРУБ ВСТЫК? 2. СРЕДНИЕ И БОЛЬШИЕ ТРУБЫ

И.В. Волков, Н.В. Прокопьев, В.И. Кимельблат

Продолжение. Начало см. в № 3-2015



**В**изуально-измерительный контроль (ВИК) сварных соединений является важным компонентом системы контроля качества сварки полимерных труб нагретым инструментом (НИ) встык. Принципы ВИК используются сварщиками для отбраковки дефектных стыков непосредственно после выполнения сварки, контролерами строительных фирм и заказчиков, а также представителями технадзора. Несмотря на некоторое своеобразие подходов к ВИК, реализованных во многих странах, можно выделить несколько общих признаков оценки внешнего вида сварных соединений полиэтиленовых (ПЭ) труб НИ встык на примере американских рекомендаций (рис 1).

В указаниях германских DVS [2], которые много десятилетий служили основным источником советских и российских разработок в области контроля сварных соединений НИ, приведены более детальные описания браковочных дефектов, определяемых при ВИК, например трещины, царапины, уменьшения сечения трубы в области сварки, нарушения симметрии и равномерности валиков грата и другие дефекты.

Вполне удовлетворительные традиционные критерии браковки сварных соединений по внешнему виду содержит ГОСТ Р 54792-2011 [3]. Положения ГОСТ Р 54792-2011 в отноше-



нии измерительного контроля корректно распространять на соединения ПЭ труб НИ с номинальным наружным диаметром dn от 63 до 225 мм и номинальной толщиной стенки e от 3,6 до 20 мм.

Между тем, эволюция объектов сварки – полимерных труб и фитингов – заключается в увеличении их геометрических размеров и применении новых марок полимерных материалов. Некоторые проблемы сварки НИ, наблюдаемые на практике, обусловлены значительным отставанием общепринятых технологических норм от инноваций трубо-го производства.

В традиционных директивах DVS регламентировались размеры грата. Отклонения размеров грата от норм использовались для выявления нарушений в подготовке заготовок к сварке и отклонения основных параметров сварки от оптимальных значений.

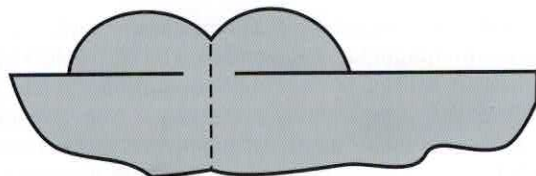
Появившийся в новых директивах DVS [2] критерий размера грата – слишком большой и слишком маленький объем грата – не определен количественно. Вместо этого требуется сравнивать оцениваемый грат с контрольными образцами. В немецкой практике существует традиция привлекать авторитетных экспертов для сварки контрольных образцов, которые рядовые сварщики могут использовать в рутинных работах. Для получения более универсальных критериев необходимо проводить настолько затратные эксперименты, что эти работы пока отложены. Действительно, стоимость труб супербольшого диаметра, которые следует сварить для получения результатов, составляет миллионы рублей.



Рис. 1.

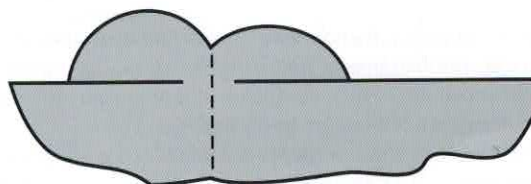
Оценки допустимых и недопустимых форм валиков, определяемых визуально.

ПЭ труба (разрез)



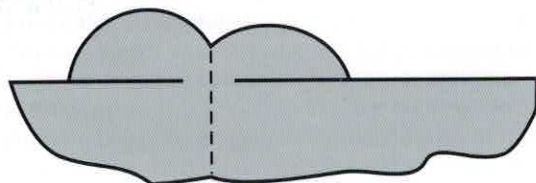
Допустимая  
(одинаковые валики вокруг трубы)

ПЭ труба (разрез)



Допустимая  
(неодинаковые валики вокруг трубы  
(типичные для сварки трубы с фитингом))

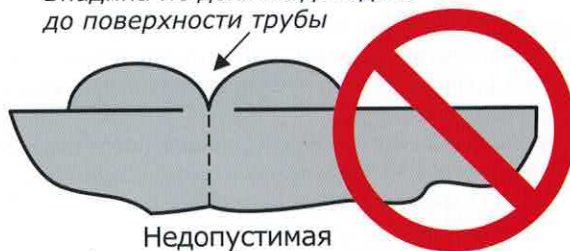
ПЭ труба (разрез)



Допустимая  
(неодинаковые валики вокруг трубы.  
Локальные несовпадения размеров грата  
не превышают 10% от толщины стенки)

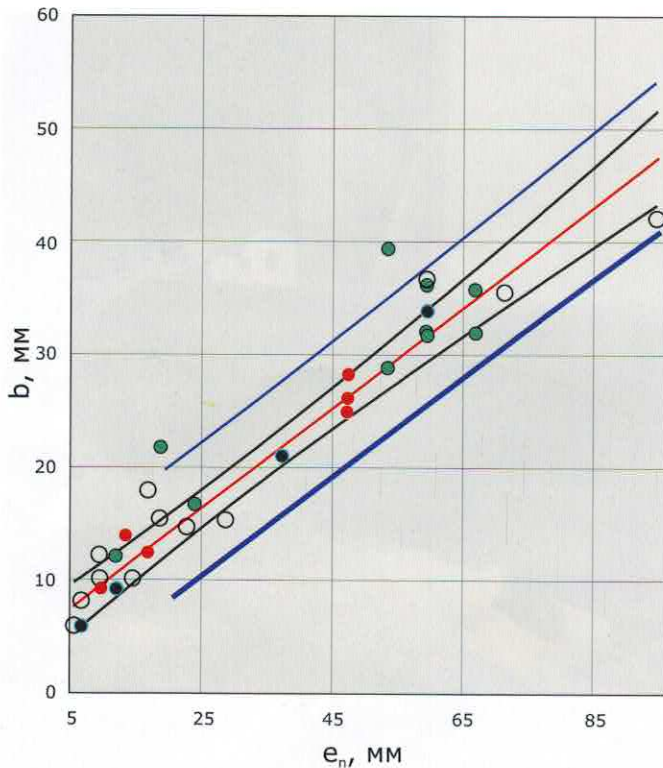
ПЭ труба (разрез)

Впадина не должна доходить до поверхности трубы

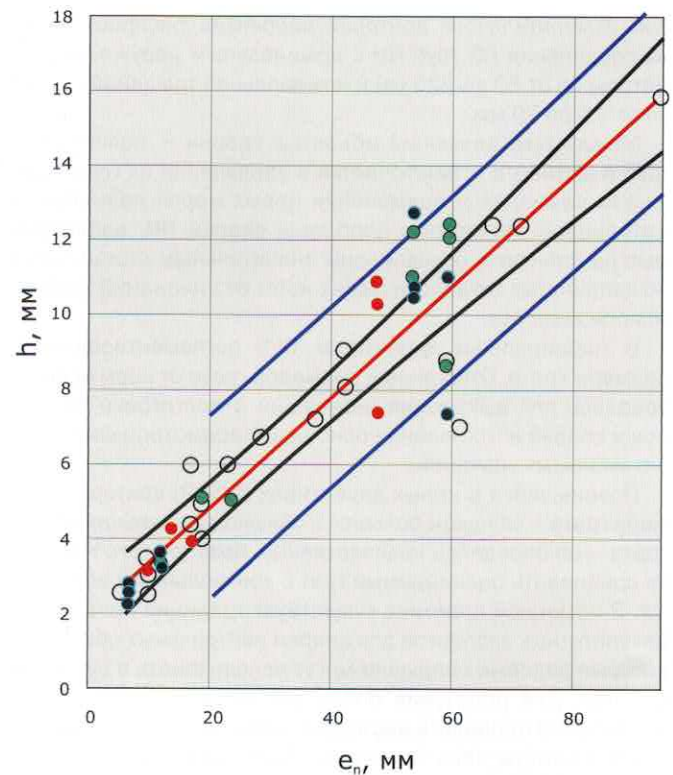


Недопустимая  
(слишком глубокая впадина  
между валиками грата)





**Рис. 2.**  
Зависимость ширины грата от толщины заготовки. Не закрашенные точки – материал неизвестен. Черные точки – ПЭ100 2HT11-9. Зеленые точки – Sabic P6006. Красные точки – ПЭ 100 6949С. Красная прямая – линия тренда, черные кривые – доверительные интервалы для функции.



**Рис. 3.**  
Зависимость высоты грата от толщины заготовки. Не закрашенные точки – материал неизвестен. Черные точки – ПЭ100 2HT11-9. Зеленые точки – Sabic P6006. Красные точки – ПЭ 100 6949С. Красная прямая – линия тренда, черные кривые – доверительные интервалы для линии регрессии, синие кривые – доверительные интервалы для данных.

Авторам удалось выполнить значительный объем экспериментов, необходимых для получения новых критериев измерительного контроля сварных соединений заготовок, имеющих толщину стенки  $e_n$  до 95 мм.

В работе использовали трубы российского и зарубежного производства из ПЭ следующих марок: Sabic P6006, 6949С, ПЭ 2HT11-9. Часть марок исходных материалов труб осталась неизвестной.

Все соединения были получены при сварке труб НИ встык при температуре нагревателя 220°C. Сварка проводилась при трех различных режимах в соответствии с предлагаемыми ГОСТ Р ИСО 55276-2012 вариантами процедур.

Сварка выполнялась на машинах Georg Fischer – Omicron, WIDOS, KWH, BADA, McElroy и УСПТЭП.

Центровка длинных (до 12 м) труб больших и супербольших диаметров проводилась, как правило, с помощью регулируемых роликовых опор производства Кохановского трубного завода.

Важнейшие факторы – квалификация, профессиональная компетентность – не принимались во внимание умышленно, поскольку сварка непосредственно выполнялась экспертами.

Наиболее очевидным фактором, влияющим на геометрические показатели грата – его объем, высоту и ширину, явля-

ется толщина заготовок. От толщины стенок труб, согласно общепринятой традиции, закрепленной в ГОСТ Р ИСО 55276-2012, зависит длительность стадий прогрева торцов, подъема сварочного давления и охлаждения под давлением. Эти зависимости носят прямо пропорциональный характер, что и провоцирует некоторых технологов на линейную экстраполяцию данных, полученных при сварке тонкостенных труб, в область больших толщин заготовок. На самом деле, в общем случае размеры грата нелинейно зависят от толщины заготовок [4], причем в числе факторов зависимости приходится учитывать реологические характеристики расплавов. При этом определенные участки нелинейной функции можно аппроксимировать отрезками линейных функций, более удобными для практики контроля сварных соединений. Так, например, зависимость ширины грата от толщины заготовки вполне удовлетворительно аппроксимирована отрезками прямых в области малых толщин труб [3]. Высота грата линейно зависит от  $e_n$  в области толщин стенок труб до 40 мм.

В результате статистической обработки экспериментальных данных авторов, по зависимости размеров грата от толщины трубы в диапазоне  $e_n$  до 95 мм были получены следующие адекватные аппроксимирующие функции:

$$\begin{aligned} &\text{Для ширины грата } b \\ &h = 0,447 \cdot e_n + 5,089 \quad (R=0,95), \end{aligned}$$



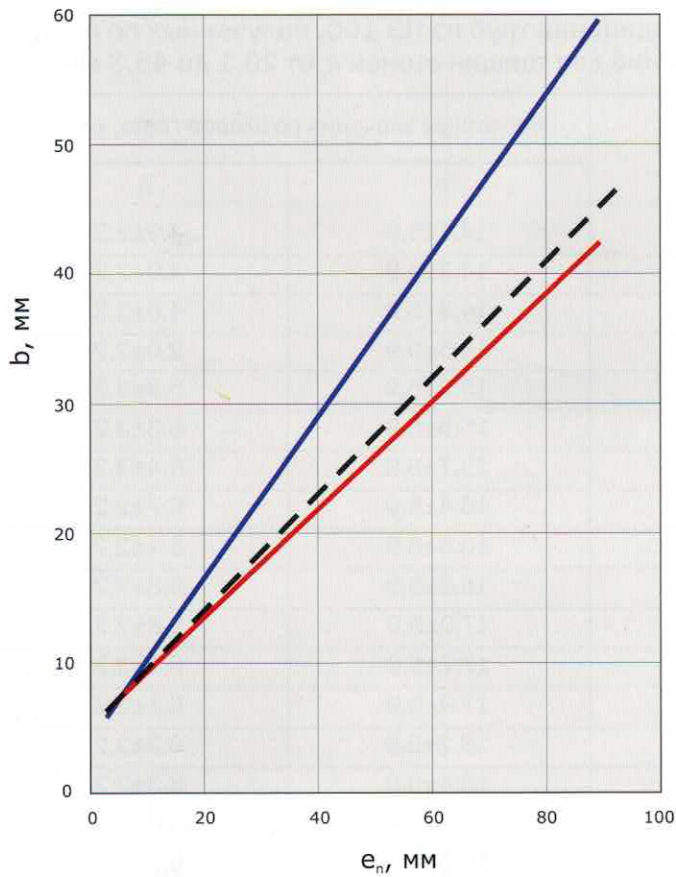


Рис. 4. Зависимость ширины грата от толщины заготовки, процедуры по ГОСТ Р ИСО 55276-2012 и условий сварки.

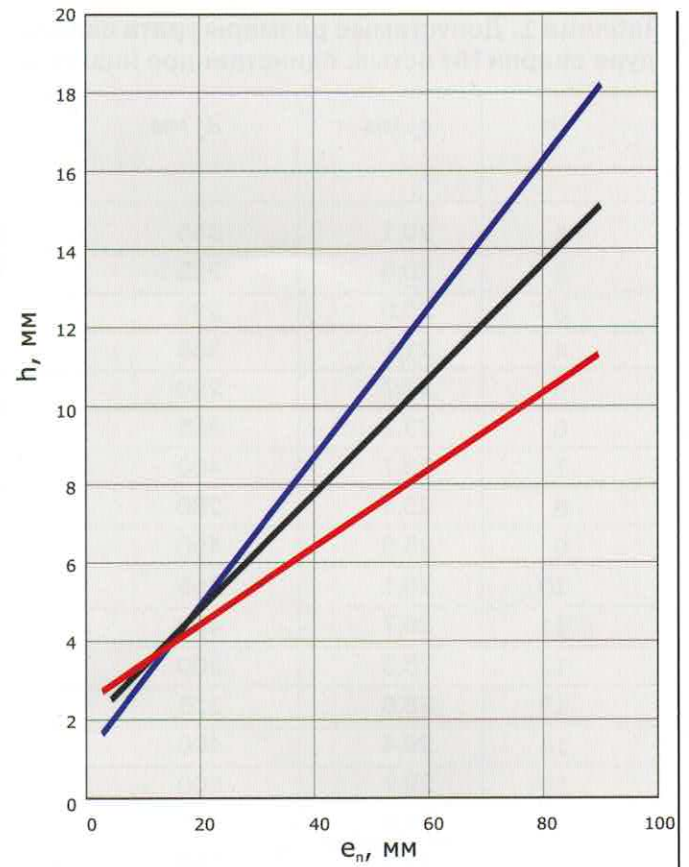


Рис. 5. Зависимость высоты грата от толщины заготовки, процедуры по ГОСТ Р ИСО 55276-2012 и условий сварки.

Рис. 6. Сварка трубы с толщиной стенки 95



**Таблица 1. Допустимые размеры грата сварных соединений труб из ПЭ 100, полученных по процедуре сварки НИ встык: единственное низкое давление для толщин стенок  $e_n$  от 20,1 до 45,3 мм**

№	$e_n$ , мм	$d_n$ , мм	SDR	Расчетные значения размеров грата, мм	
				$b$	$h$
1	20,1	355	17,6	14,1±5,9	4,9±2,2
2	20,5	225	11	14,3±5,9	4,9±2,2
3	20,6	280	13,6	14,3±5,9	4,9±2,2
4	21,1	355	17	14,5±5,9	5,0±2,2
5	22,7	250	11	15,2±5,9	5,3±2,2
6	23,2	315	13,6	15,5±5,9	5,3±2,2
7	23,7	400	17	15,7±5,9	5,4±2,2
8	25,4	280	11	16,4±5,9	5,7±2,2
9	25,5	450	17,6	16,5±5,9	5,7±2,2
10	26,1	355	13,6	16,8±5,9	5,8±2,2
11	26,7	450	17	17,0±5,9	5,8±2,2
12	28,3	500	17,6	17,7±5,9	6,1±2,2
13	28,6	315	11	17,9±5,9	6,1±2,2
14	29,4	400	13,6	18,2±5,9	6,2±2,2
15	29,7	500	17	18,4±5,9	6,3±2,2
16	31,7	560	17,6	19,3±5,9	6,6±2,3
17	32,2	355	11	19,5±5,9	6,7±2,3
18	33,1	450	13,6	19,9±5,9	6,8±2,3
19	33,2	560	17	19,9±5,9	6,8±2,3
20	35,7	630	17,6	21,0±5,9	7,2±2,3
21	36,3	400	11	21,3±5,9	7,2±2,3
22	36,8	500	13,6	21,5±5,9	7,3±2,3
23	37,4	630	17	21,8±5,9	7,4±2,3
24	40,2	710	17,6	23,1±5,9	7,8±2,3
25	40,9	450	11	23,4±5,9	7,9±2,3
26	41,2	560	13,6	23,5±5,9	8,0±2,3
27	42,1	710	17	23,9±5,9	8,1±2,3
28	45,3	800	17,6	25,3±6,0	8,6±2,3

и для высоты грата  $h$   
 $h=0,147 \cdot e_n + 1,920$  ( $R=0,92$ ),  
 где  $R$  – коэффициенты корреляции.

Доверительные интервалы для данных, ( $y_{Ht}$ ,  $y_{Bt}$ ), построенные на рисунках 2 и 3 (синие кривые), рассчитаны при доверительной вероятности 95%.

В таблицах 1 и 2 приведены допуски на размеры грата, вычисленные для соответствующих размеров труб.

Если размеры грата ниже указанных в таблицах 1 и 2, можно предполагать, что параметры сварки неадекватны реологическим свойствам материала и условиям сварки:

- низкая температура нагревателя,

- недостаточная длительность прогрева,
- низкое давление в плоскости сварки,
- чрезмерно длительная технологическая пауза.

Если размеры валиков выше величин, указанных в таблицах 1 и 2, можно предположить, что:

- температура нагревателя, длительность прогрева и давление в плоскости сварки – завышены.

На основании табличных данных сварщики и контролеры могут оценивать качество 100% сварных соединений и принимать решение о выборочных механических испытаниях швов и оптимизации режима сварки.

Уравнения 1 и 2 относятся к сварке по процедуре «единственного низкого давления» в благоприятных



Таблица 2. Допустимые размеры грата сварных соединений труб из ПЭ 100, полученных по процедуре сварки НИ встык: единственное низкое давление для толщин стенок  $e_n$  от 45,4 до 95 мм

№	$e_n$ , мм	$d_n$ , мм	SDR	Расчетные значения размеров грата, мм	
				$b$	$h$
1	45,4	500	11	25,4±6,0	8,6±2,3
2	46,3	630	11	25,8±6,0	8,7±2,4
3	47,4	800	17	26,3±6,0	8,9±2,4
4	50,8	560	11	27,8±6,0	9,4±2,4
5	51,0	900	17,6	27,9±6,0	9,4±2,4
6	52,2	710	13,6	28,4±6,0	9,6±2,4
7	53,3	900	17	28,9±6,0	9,8±2,4
8	56,6	1000	17,6	30,4±6,1	10,2±2,4
9	57,2	630	11	30,7±6,1	10,3±2,4
10	58,8	800	13,6	31,4±6,1	10,6±2,4
11	59,3	1000	17	31,6±6,1	10,6±2,4
12	64,5	710	11	33,9±6,2	11,4±2,5
13	66,1	900	13,6	34,6±6,2	11,6±2,5
14	66,7	1400	21	34,9±6,2	11,7±2,5
15	68,0	1200	17,6	35,5±6,2	11,9±2,5
16	71,1	1200	17	36,9±6,3	12,4±2,5
17	72,6	800	11	37,5±6,3	12,6±2,5
18	73,5	1000	13,6	37,9±6,3	12,7±2,6
19	81,7	900	11	41,6±6,5	13,9±2,6
20	83	1400	17	42,2±6,5	14,1±2,6
21	88,2	1200	13,6	44,5±6,6	14,9±2,7
22	90,8	1000	11	45,7±6,7	15,3±2,7
23	94,8	1600	17	47,5±6,8	15,9±2,7

погодно-климатических условиях.

Если в полном соответствии с ГОСТ Р ИСО 55276-2012 технологи, используя американские сварочные машины высокого давления, выбирают процедуру «единственного высокого давления» или, напротив, предпочитают процедуру «двойного низкого давления», придется применять поправочные коэффициенты, ориентируясь на рисунки 4 и 5. Так же следует поступать, если ввиду пониженных температур окружающего воздуха сварщики удлиняют время прогрева.

Авторы благодарят руководство Климовского трубного завода и коллег из КТЗ, в особенности К.В. Готовко, фирмы Georg Fischer – Omicron, «Софипо», и «АДР-технология», оказавших огромную помощь в проведении экспериментальных работ.

## Литература

1. Polyethylene Piping Systems Field Manual for Municipal Water Applications. PPI. 2009.
2. DVS Technical Codes on Plastics Joining Technologies. 2015. Technical Code DVS 2202. Evaluation of imperfections in joints of thermoplastic materials to piping parts and panels heated plate welding (HS, IR).
3. ГОСТ Р 54792-2011 Дефекты в сварных соединениях термопластов. Описание и оценка.
4. Волков И.В., Кимельблат В.И., Мысяк Р.С. Направления развития визуально-измерительного контроля сварки нагретым инструментом встык. Вестник Казанского технологического Университета. – Изд-во Казан. гос. технол. ун-та, 2015. Т.18, №5, с.56–59.