

## ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОВИЗИОННОГО КОНТРОЛЯ ПРИ СВАРКЕ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ТРУБ

В. Ю. ГЛУХОВСКИЙ, А. В. КОСТЕНКО

*Рассмотрен новый подход к контролю сварных швов полиэтиленовых труб с помощью тепловизионного метода. Проведены исследования по применению тепловизионного контроля для обнаружения возможных дефектов в сварном шве, а также материалографические исследования образцов, подтверждающие результаты, полученные с помощью тепловизионного контроля.*

*A new approach to control of polyethylene pipe welds using heat monitoring technique is considered. Investigations on application of heat monitoring to detect possible defects in the weld have been conducted. Materialographic investigations of samples have been performed, which confirm the results obtained in heat monitoring.*

В последние годы в Украине стали широко использовать полимерные трубы для строительства и ремонта инженерных сетей разного назначения (водо- и газопроводы, тепло- и канализационные сети). Это связано с тем, что полимеры объединяют в себе довольно высокую прочность, стойкость к распространению трещин, легкость обработки в сравнении с металлами, высокую химическую и коррозионную стойкость и т. д. Уменьшение расходов во время строительства полимерных трубопроводов в сравнении с металлическими может составлять от 30 до 70 % за счет скорости монтажа, отсутствия антикоррозионной обработки, катодной защиты и специального оборудования траншей [1].

Наиболее распространенными среди полимеров, которые используются в промышленности, являются полиэтилен, полипропилен и поливинилхлорид. Однако именно полиэтилен является наиболее используемым материалом за счет повышенных физико-механических характеристик и наиболее выгодных для производителей расходов на получение и переработку сырья.

Монтаж полимерных трубопроводов проводят с помощью различных способов, наиболее распространенными из которых являются термические (стыковая сварка, сварка в раструб и терморезисторная сварка) [2]. Стыковая сварка используется для труб с толщиной стенки не менее 5 мм и диаметром 63...1200 мм. Раструбную и терморезисторную сварку используют при различных толщинах стенки и диаметра труб. При этом необходимо наличие соответствующих соединительных деталей, которые уменьшают скорость монтажа, но увеличивают стоимость сварного соединения.

Необходимо отметить, что процесс сварки металлических трубопроводов включает процедуру неразрушающего контроля как металла зоны шва, так и зоны термического влияния в процессе свар-

ки, а также в процессе эксплуатации трубопроводной сети. Это связано с тем, что трубопровод должен работать под высоким давлением и испытывать большие термомеханические нагрузки, а наличие дефектных зон в местах соединения повышает риск разрушения изделия.

Трубопроводы, изготовленные из полимеров (полиэтилен, полибутилен и т. д.) работают под меньшими давлениями, что уменьшает теплофизические нагрузки [3]. При этом не принимаются во внимание более низкие прочностные характеристики полимеров в сравнении с металлами, а также другой характер взаимодействия поверхностей в зоне сварного соединения. Процесс сварки полимерных материалов не контролируется, что повышает риск образования дефектов в зоне шва и в зоне термического влияния. И, как следствие, увеличивает вероятность разрушения полимерных конструкций в процессе эксплуатации.

Основными параметрами, влияющими на качество сварного шва, являются температура торцов труб перед сваркой, параллельность поверхности торцов, давление сварки, давление усадки и время охлаждения сварного шва. Все перечисленные параметры можно контролировать,



Рис. 1. Внешний вид стыкового соединения

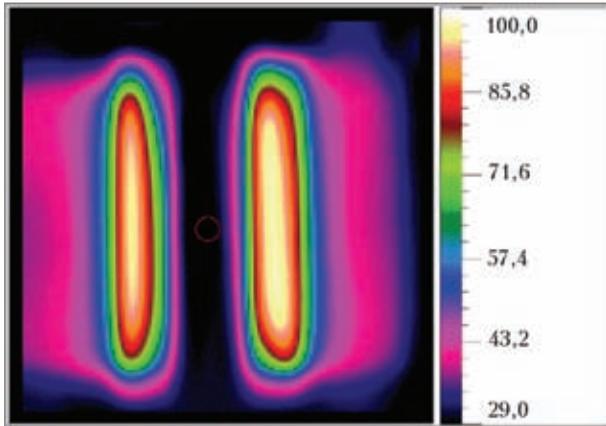


Рис. 2. Термограмма поверхности торцов труб перед сдавливанием

за исключением температуры торцов свариваемых труб. Применение точечных методов определения температуры (термопарный, пирометрический) не позволяет увидеть и оценить температурное поле торцов перед сваркой. При этом неоднородность температурного поля торцов может приводить к возникновению дефектов в сварных швах, а снижение средней температуры торцов ниже температуры сварки — к формированию сварного шва с низкими физико-механическими свойствами.

В последние годы достигнуты значительные успехи в создании оборудования для сварки пластмасс и отработаны надежные технологии. Однако контроль качества сварных соединений из пластмасс все еще связан с некоторыми сложностями, которые зависят от способа и технологии сварки, вида сварных конструкций, свойств полимерного материала и его строения. В связи с этим большое значение уделяется повышению эффективности контроля качества сварных соединений полимерных материалов [4].

Для анализа температурного поля торцов труб в процессе сварки был применен тепловизионный метод контроля, который базируется на фиксации теплового излучения, идущего от объекта контроля, с визуализацией полученной информации [5]. Зоны сварного шва и термического влияния были сфотографированы тепловизионной камерой с последующей компьютерной обработкой полученных термограмм. Так, с помощью данного

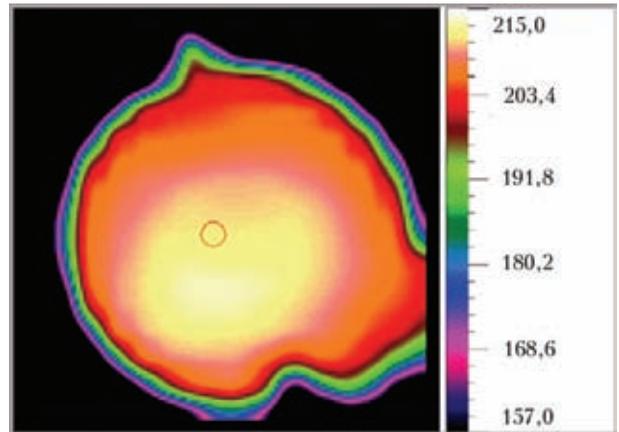


Рис. 3. Термограмма нагревательного устройства для стыковой сварки полиэтиленовых труб

метода можно определить неоднородности теплового поля объекта, которые могут свидетельствовать о наличии дефектов в конструкции [6].

Метод тепловизионного контроля был применен при сварке труб из полиэтилена марки ПЕ 80 (рис. 1) диаметром 110 мм и толщиной стенки 6,3 мм. Сварку труб осуществляли стыковой сваркой на установке Widos–Polypress 4600. Параметры сварки устанавливали согласно действующей нормативно-технической документации [7]. Температура нагревательного устройства составляла 200...215 °С (рис. 3), время нагревания торцов трубы 60 с, технологическая пауза перед сдавливанием 3...4 с, сварочное давление 0,2 МПа, время охлаждения 10 мин. На рис. 2 показана термограмма торцов труб перед сдавливанием, где виден неравномерный прогрев торцов. Средняя температура левого торца на 10...12 °С отличается от средней температуры правого. Это можно объяснить неравномерным распределением температуры по поверхности нагревательного устройства, которая колеблется в пределах 200...215 °С (рис. 3).

На термограммах торцов полиэтиленовых труб были отмечены четыре температурные зоны, значения температур в которых были разными. Так, из рис. 4, а видно, что максимальная температура торцов трубы — с левого и правого краев, средняя температурная зона находится внизу, а минимальная — вверху торца. Разница температур  $\Delta T =$

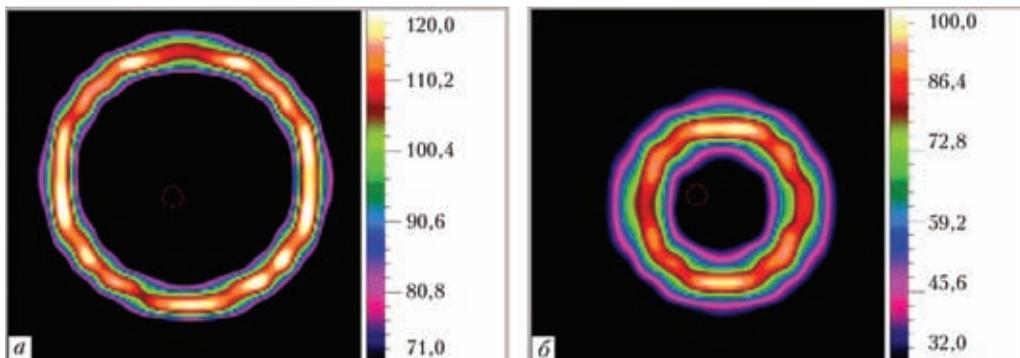


Рис. 4. Термограммы торцов полиэтиленовых труб непосредственно перед сваркой: а — правый торец; б — левый

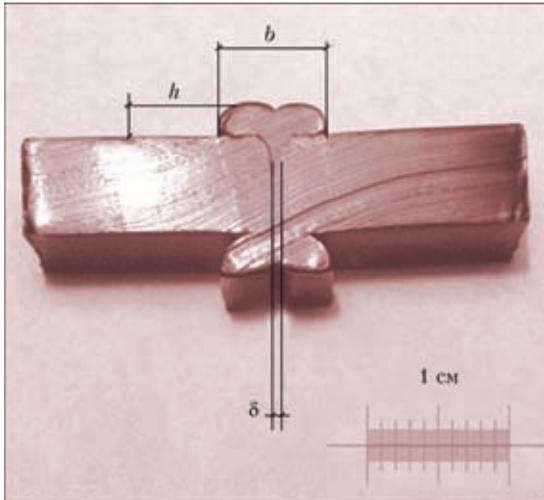


Рис. 5. Пример измерения параметров сварного соединения

$= T_{\max} - T_{\min} = 15 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , где  $T_{\max}$  и  $T_{\min}$  — средняя температура верхней и нижней зон соответственно.

Из термограммы на рис. 4, б видно, что высокотемпературные зоны ( $T_{\text{ср}} = 97 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ) находятся в нижней и верхней зонах торца, а низкотемпературные ( $T_1^{\text{ср}} = 97 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ) расположены с боков торца труб. Необходимо отметить, что разница температур  $\Delta T^{\text{ср}} = T_1^{\text{ср}} - T_2^{\text{ср}}$  и равна  $12 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , где  $T_1^{\text{ср}}$  — средняя температура верхней и нижней зон торца;  $T_2^{\text{ср}}$  — средняя температура боковых зон торца трубы.

После сварки были проведены исследования структуры полученных сварных соединений (рис. 5). Был проведен контроль геометрических параметров внешнего грат (в соответствии с действующей нормативно-технической документацией [7]); вырезали отдельные фрагменты сварного соединения, из которых изготавливали шлифы для визуальной оценки размеров зоны основного термического влияния и характера взаимодействия соединенных поверхностей в зоне сварки [8].

Контроль внешнего грат показал, что его ширина  $b$  лежит в пределах  $b = 7,4 \dots 7,9 \text{ мм}$ , что превышает допустимые значения, которые находятся в пределах  $3 \dots 7 \text{ мм}$ . Высота грат  $h$  удовлетворяет нормальным условиям, которые лежат в пределах  $2 \dots 3 \text{ мм}$ , при этом  $h = 2,3 \dots 2,7 \text{ мм}$  (рис. 6).

Чрезмерная ширина грат является недопустимой и свидетельствует о том, что во время сварки было превышено время нагрева или увеличено значение температуры нагревательного элемента. Такие изменения технологических параметров можно контролировать с помощью тепловизионного метода контроля, если проводить контроль оптимального распределения температур в зоне сварки после удаления нагревательного устройства, как показано на рис. 2. Сравнивая термограммы, сделанные при таких же условиях с эта-

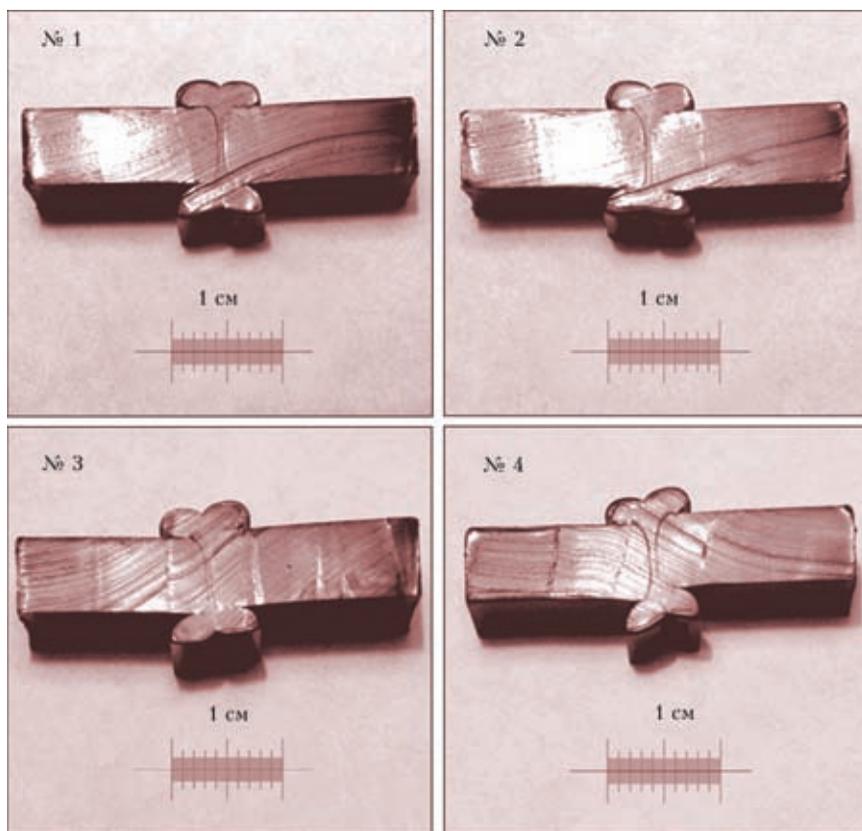


Рис. 6. Макрошлифы сварных соединений полиэтиленовых труб (№ 1, 4 — соответственно верхняя и нижняя температурные зоны; № 2, 3 — правая и левая)



лонной, можно определять нежелательные отклонения от технологических параметров сварки.

Исследования особенностей структуры полученных соединений показали неравномерность распределения температуры по поверхности торцов перед сваркой, что может свидетельствовать о разной глубине прогревания участков труб. При исследовании макрошлифов основное внимание необходимо обратить на отсутствие линии раздела в центральной части поперечного сечения шва и на параметр  $\delta$ , который не должен превышать 12 % толщины стенки труб (рис. 5) [8]. Значение  $\delta$  для труб с толщиной стенки 6,3 мм лежит в пределах 0,5...0,76 мм.

Фактическое значение параметра  $\delta$  колеблется в пределах 0,62...0,86 мм, при этом максимальная граница превышена для образца на рис. 6, № 2. Причиной такого отклонения может быть увеличенная глубина термического влияния за счет неравномерного температурного поля нагревательного устройства (рис. 3) и увеличения времени нагрева.

## Выводы

1. Процесс сварки полиэтиленовых труб необходимо контролировать методами неразрушающего контроля.

2. Неравномерное нагревание поверхности торцов труб может приводить к возникновению различных дефектов, которые в свою очередь могут привести к разрушению конструкции.

3. Применение тепловизионного контроля при сварке полимерных конструкций является эффективным инструментом для выявления различных дефектов, возникающих в процессе сварки.

4. Разработка технологии тепловизионного контроля при сварке полиэтиленовых конструкций является перспективным направлением, которое поможет повысить качество сварки и уменьшить процент брака при производстве сварных конструкций.

1. Бухин В. Е., Фаттахов М. М. Полимерные материалы, используемые при строительстве трубопроводов/ Инженерные сети из полимерных материалов. — 2008. — № 3(25) — С. 45 — 49.
2. Зайцев К. И., Мацюк Л. Н. Сварка пластмасс. — М.: Машиностроение, 1987. — 250 с.
3. Каган Д. Ф. Трубопроводы из пластмасс. — М.: Химия, 1980. — 222 с.
4. Балабанина Г. В., Истратов И. Ф. Контроль качества сварных соединений из пластмасс в строительстве. — М.: Стройиздат, 1975. — 192 с.
5. Маслова В. А., Стороженко В. А. Термография в диагностике и неразрушающем контроле. — Харьков: Компания СМИТ, 2004. — 160 с.
6. *Infrared thermography for high-temperature pressure pipe*, by Gontain Shen and Tao Li, INSIGHT (Non-Destructive Testing and Condition Monitoring), March 2007. — 49, №3. — P. 151.
7. РСН 358–91. Сварка полиэтиленовых труб при строительстве газопроводов.
8. Вундерлих Б. Физика макромолекул. Кристаллическая структура, морфология, дефектность. — М.: Мир, 1976. — 624 с.

*Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины,  
Киев*

*Поступила в редакцию  
22.12.2009*

## **МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ С ЭЛЕМЕНТАМИ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ ДЛЯ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ «ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ЭКОНОМИКА В МАШИНОСТРОЕНИИ»**

**20–21 мая 2010 г. Юрга, ЮТИ ТПУ**

### **Секции и научные направления конференции**

1. Инновационные технологии получения неразъемных соединений в машиностроении
2. Инновационные технологии получения и обработки материалов в машиностроении
3. Автоматизация, информатизация, экономика и менеджмент на предприятии
4. Защита окружающей среды, безопасность и охрана труда на предприятии
5. Передовые технологии и техника для разработки недр и землепользования
6. Научная школа для молодых ученых «Новые и новейшие технологии в машиностроении»

**Адрес оргкомитета**

**ЮТИ ТПУ, 652055, Кемеровская область, г. Юрга, ул. Ленинградская, д. 26  
Тел.: (+7 38451) 6-53-95, факс: (+7 38451) 6-53-95, www.uti.tpu.ru, utiscience@rambler.ru**