

Испытания на трещиностойкость образцов из полиэтиленовых труб

А.В. Саввина, Е.В. Данзанова

Институт проблем нефти и газа Сибирского отделения Российской академии наук, Якутск

Аннотация: В статье приведены результаты испытаний образцов сварных соединений полиэтиленовых труб на трещиностойкость при различных температурах. Показано, что в зоне шва наблюдается снижение коэффициента интенсивности напряжений до 27 % по сравнению с основным материалом.

Ключевые слова: полимер, полиэтилен, труба, растяжение, трещиностойкость, низкие температуры, хрупкое разрушение, трещина, сварка, сварное соединение, зона сплавления.

Для регионов холодного климата применение изделий из полимерных материалов является весьма перспективным [1-2]. В настоящее время полимерные трубы широко используются в системах газо- и водоснабжения. Но в условиях низких температур, более острой становится проблема трещиностойкости полимеров. Поскольку, как показывают исследования, остановка трещины происходит вследствие сопротивления хрупкому разрушению, которым обладает материал, важно научиться оценивать различные материалы по их возможности останавливать трещины [3]. Исследованию вязкости разрушения полимерных материалов посвящено множество работ [4-6].

Наиболее ответственным элементом трубопровода является сварное соединение. Как показывает опыт применения труб из термопластов около 54% аварий приходится на разрушение по стыку [7]. Более детальное изучение физико-механических свойств сварных соединений полимерных материалов позволит улучшить их прочность и внести некоторые корректировки в технологический процесс сварки. Ранее были проведены испытания на трещиностойкость образцов полипропиленовых труб, применяемых в водоснабжении [8].

Целью работы является исследование трещиностойкости сварного стыкового соединения полиэтиленовых труб в различных зонах шва.

Методы механики разрушения, в отличие от стандартных методов испытаний на растрескивание, позволяют оценить сопротивление разрастанию трещины. В своей основе эти методы позволяют определить зависимость скорости распространения трещины от параметров нагружения, что также устанавливает порог инициирования развития стабильной трещины. Характерным параметром здесь является критическое значение коэффициента интенсивности напряжений, соответствующее разрушению в условиях плоской деформации – K_{Ic} [9].

В данной работе испытывались трубы ПЭ100 SDR 11 диаметром 110 мм с толщиной стенки 10 мм, предназначенные для газопроводов. Эксперименты проводились согласно методике, изложенной в работе [10], за результат испытаний принималось значение K_{Ic} .

Из сварных соединений изготавливались прямоугольные компактные образцы с размерами 35×35 мм с краевой трещиной для испытаний на внецентренное растяжение (тип 3 по ГОСТ 25.506). Схема образца приведена на рис. 1. Надрезы глубиной 17,5 мм наносили ножовочным полотном и заостряли бритвой.

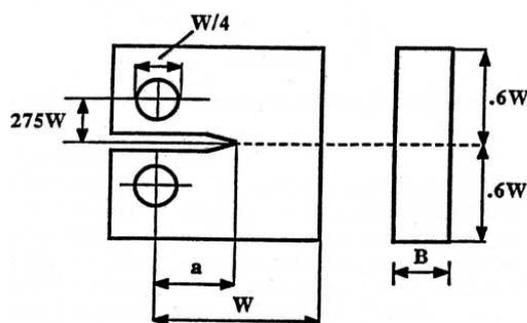


Рис. 1. – Схема образца для испытаний

Как известно, область сварного стыкового соединения полимерных труб исследователи делят на несколько зон в зависимости от структуры полимера, сформировавшейся в результате термомеханического воздействия в процессе сварки [11, 12]. Так в работе [11] выделяется 5 основных зон: зона сплавления, сферолитная зона, зона вблизи границы проплавления, зона термического влияния, грат. В данной работе было принято деление области сварного стыкового соединения на 5 зон сварного соединения: зона сплавления, околошовная зона, подгратовая область, зона термического влияния, основной материал (рис. 2).

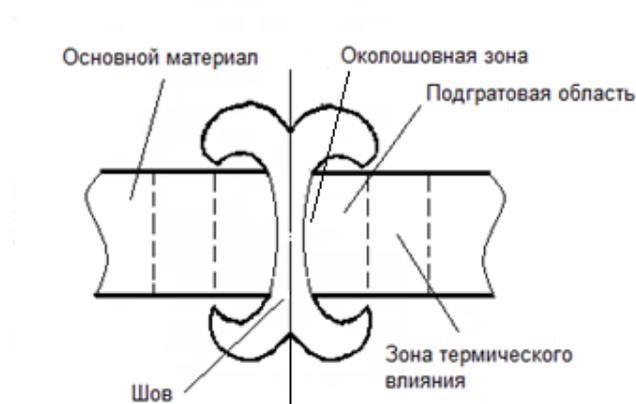


Рис. 2. – Схема разделения по зонам сварного стыкового соединения

Зона сплавления является важнейшим участком сварного соединения. Ее микроструктура в первую очередь определяет качество сварного соединения. Околошовная зона находится вблизи границы проплавления, т.е. между твердым полимером и расплавом. В подгратовой области материал имеет сферолитную структуру, характерную для основного материала. Средний размер сферолитов здесь обычно меньше, чем в основном материале. Зону термического влияния образуют участки основного материала, прилегающие к подгратовой области. Область на расстоянии ± 5 мм от середины сварного шва для трубы диаметром 63 мм при комнатной температуре $(23\pm 3)^\circ\text{C}$ подвергается нагреву выше 80°C , при которой

начинаются изменения физико-механических свойств ПЭ, что и послужило разграничением зоны термического влияния от основного материала трубы.

Испытания на трещиностойкость проводились при различных температурах для выявления отрицательной температуры, при которой полученные результаты были бы наиболее достоверными.

На рис. 3 приведены полученные в ходе испытаний коэффициенты интенсивности напряжений образцов сварных соединений по зонам при температуре испытаний $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$.

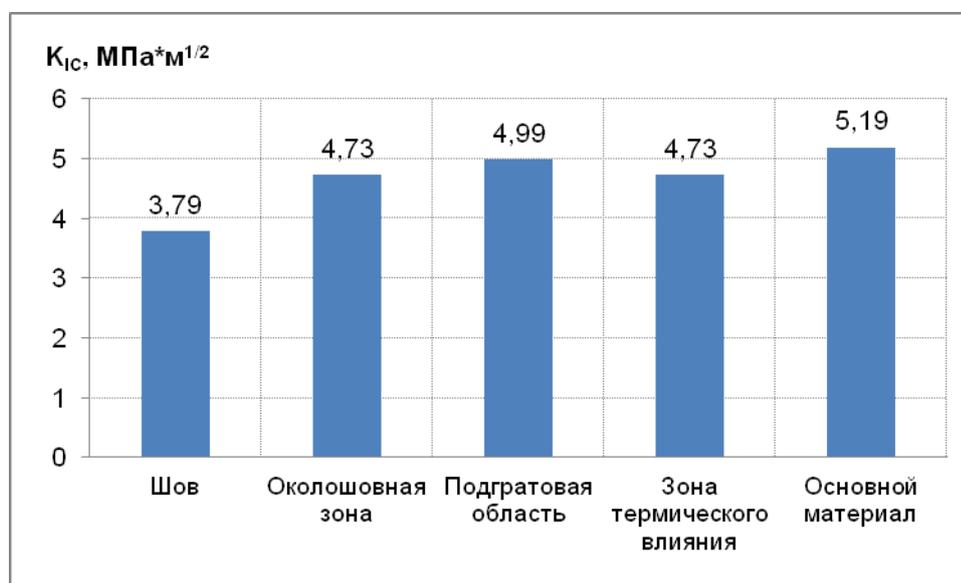


Рис. 3. – Коэффициент интенсивности напряжений образцов сварных соединений по зонам

Результаты испытаний показывают увеличение трещиностойкости основного материала. Снижение значение коэффициента интенсивности напряжений наблюдается в зоне шва. Для улучшения прочностных свойств именно в этой зоне возможно перспективной будет незначительное изменение параметров сварки, таких как температура нагретого инструмента, время нагрева и давление при нагреве и осадке в зависимости от температуры окружающей среды.



Литература

1. Бабенко Ф.И., Федоров Ю.Ю., Саввина А.В. Температурные ограничения по применению армированных полиэтиленовых труб для газопроводов в условиях холодного климата // Инженерный Вестник Дона, 2015, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3102/.

2. Бабенко Ф.И., Федоров Ю.Ю., Саввина А.В. Температурные ограничения по применению армированных полиэтиленовых труб для газопроводов в условиях холодного климата // Инженерный Вестник Дона, 2015, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3102/.

3. Разрушение. Расчет конструкций на хрупкую прочность. Том 5 / под ред. Либовец Г., Пер. с англ. под ред. Зорева Н.Н., Шура Д.М. М.: Машиностроение, 1977. 463 с.

4. Strebel J. J., Moet A. Determining fracture toughness of polyethylene from fatigue // Journal of material science. No. 27 (1992). pp. 2981-2988.

5. Ulmanu V., Drăghici Gh., Aluchi V. Fracture mechanics testing of high density polyethylene (hdpe) pipe material with compact tension (ct) specimens // Journal of Engineering Studies and Research. Vol. 17 (2011). No. 3. pp. 98-103.

6. Ramsaroop A., Kanny K., Mohan T. P. Fracture Toughness Studies of Polypropylene - Clay Nanocomposites and Glass Fibre Reinforced Polypropylene Composites // Materials Sciences and Applications. No. 1 (2010). pp. 301-309.

7. Фаттахов М.М. Применение труб из термопластов при строительстве и реконструкции распределительных трубопроводов // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело», 2006. URL: ogbus.ru/files/ogbus/authors/FattakhovMM/FattakhovMM_2.pdf.

8. Герасимов А.И., Данзанова Е.В., Ботвин Г.В. Определение предела трещиностойкости полипропиленовых труб // Diagnostics, Resource and Mechanics of materials and structures. 2018. Т. 1. С. 50-57.

9. Испытания пластмасс / под ред. Грэлльман В., Зайдлер С., Пер с англ. под ред. Малкина А.Я. СПб: ЦОП "Профессия", 2010. 720 с.

10. ASTM D 5045-99 (2007). Стандартные методы испытаний на вязкость разрушения при плоской деформации и скорость выделения энергии деформации пластиковых материалов. 2007.

11. Гринюк В.Д., Шадрин А.А., Золотарь А.В., Константинова С.П., Марьянович Г.И., Семенов Р.Г. Микроструктура и качество сварных стыковых соединений полиэтилена // Автоматическая сварка. 1990. №11. С. 23-26.

12. Кайгородов, Г.К., Каргин В.Ю. Влияние скорости охлаждения полиэтиленового сварного шва на его прочность // Трубопроводы и экология. 2001. № 2. С.13-14.

References

1. Babenko F.I., Fedorov Yu.Yu., Savvina A.V. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2015, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3102/.

2. Babenko F.I., Fedorov Yu.Yu., Savvina A.V. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2015, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3102/.

3. Razrushenie. Raschet konstrukcij na hrupkuyu prochnost'. [Fracture. Fracture design of structures]. Volume 5. Edited by Liebowitz H. Academic press. New York and London, 1963. 463 p.

4. Strebel J. J., Moet A. Journal of material science. No. 27 (1992). pp. 2981-2988.

5. Ulmanu V., Drăghici Gh., Aluchi V. Journal of Engineering Studies and Research. Vol. 17 (2011). № 3. pp. 98-103.

6. Ramsaroop A., Kanny K., Mohan T. P. Materials Sciences and Applications. No. 1 (2010). pp. 301-309.

7. Fattakhov M.M. Elektronnyy nauchnyy zhurnal «Neftegazovoe delo», 2006 URL: ogbus.ru/files/ogbus/authors/FattakhovMM/FattakhovMM_2.pdf.



8. Gerasimov A. I., Danzanova E. V., Botvin G. V. Diagnostika, Resurs i Mekhanika materialov i konstrukcij [Diagnostics, Resource and Mechanics of materials and structures]. 2018. Iss. 1. pp. 50–57.

9. Ispytaniya plastmass [Polymer testing]. Edited by Grellmann W., Seidler S.. Carl Hanser Verlag, Munich/FRG, 2007. 720p.

10. ASTM D 5045-99 (2007). Standartnye metody ispytaniy na vyazkost' razrusheniya pri ploskoj deformacii i skorost' vydeleniya energii deformacii plastikovyh materialov. [Standard test methods for plane-strain fracture toughness and strain energy release rate of plastic materials]. 2007.

11. Grinyuk V.D., Shadrin A.A., Zolotar' A.V., Konstantinova S.P., Mar'yanovich G.I., Semenov R.G. Avtomaticheskaya svarka. 1990. №11. pp. 23-26.

12. Kaygorodov, G.K., Kargin V.Yu. Truboprovody i ekologiya. 2001. № 2. pp. 13-14.