



НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТРУБ ИЗ ПОЛИМЕРОВ, ВЫПОЛНЕННЫХ СПОСОБОМ СТЫКОВОЙ СВАРКИ ПОД УГЛОМ

Е. С. НИКОНОВА, инж., Н. Г. КОРАБ, канд. техн. наук, В. Ю. КОНДРАТЕНКО, инж.
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Рассмотрено напряженно-деформированное состояние сварных стыковых соединений, выполненных под разными углами, и рассчитано распределение эквивалентных напряжений по сечению сварного шва. Определены диапазоны углов относительно нижней образующей при стыковой сварке, в границах которых необходимо установить дополнительные прижимающие устройства, чтобы нивелировать существующий перепад напряжений в сварном шве. Найдено новое технологическое решение в виде устройства для сварки труб из термопластов, на которое получен патент Украины.

Ключевые слова: полимерные изделия, сварные соединения, стыковая сварка, соединительные детали, прочность сварной конструкции, исследования напряженно-деформированного состояния, устройство для сварки труб из термопластов

В настоящее время для соединения труб из полимерных материалов используют три основных способа сварки: терморезисторную, сварку нагретым инструментом встык и вращающуюся сварку. Сварку нагретым инструментом вращающуюся в основном применяют для соединения труб малого диаметра, например, при монтаже систем водо- и газоснабжения, отопления и т. д. Для соединения труб наружным диаметром более 63 мм, как правило, используют терморезисторную или стыковую сварку. При этом даже поверхностный сравнительный анализ показывает очевидные преимущества использования стыковой сварки: отсутствие необходимости в дополнительных соединительных деталях, простоту выполнения сварки и высокую надежность получаемых сварных соединений. Кроме того, стоимость терморезисторных соединительных деталей сравнительно высока и с увеличением диаметра трубопровода цена на такие детали пропорционально возрастает. Ранее весомым аргументом в пользу терморезисторной сварки была минимизация так называемого человеческого фактора и, как следствие, более высокое качество получаемых сварных швов. Однако в настоящее время с появлением на территории Украины все большего количества современного автоматизированного сварочного оборудования для стыковой сварки, способного точно контролировать все технологические параметры сварочного процесса, положение резко из-

менилось. Стыковая сварка превратилась в способ, обеспечивающий практически стопроцентное качество получаемых сварных соединений и способный на равных конкурировать с терморезисторной сваркой. С учетом экономических факторов можно утверждать, что для труб диаметром более 160 мм альтернативы стыковой сварке сейчас нет [1, 2].

В то же время существует проблема запрета на территории Украины использования сварных соединительных деталей при строительстве газопроводов — вместо них используют более дорогие литые соединительные детали (при строительстве систем водоснабжения, водоотвода и канализации таких ограничений нет).

Ранее считалось, что сварные швы при изготовлении соединительных деталей всегда уменьшают прочность конструкции в целом. При этом даже вводили специальные понижающие коэффициенты, а при расчетах принималось, что прочность сварной конструкции составляет от 30 до 70 % прочности основного материала без сварных швов. В настоящее время при проектировании полимерных трубопроводов существует практика введения коэффициента уменьшения прочности сварного соединения, изготовления сварных соединительных деталей из труб с большей толщиной стенки, чем в трубопроводе. Все это обусловлено в первую очередь непониманием и игнорированием особенностей строения и образования сварных соединений из полимеров [3, 4].

На данный момент практически отсутствуют исследовательские работы и публикации, касающиеся соединительных деталей для полимерных трубопроводов, сваренных стыковой сваркой под



углом. Сварочное оборудование для производства таких деталей преимущественно импортное и имеет ряд недостатков, основным из которых является невозможность технологически нивелировать перепад напряжений на торцах труб, которые образуют стык при сварке под углом [5]. Это может привести к получению некачественного сварного соединения. Отсутствует также нормативная база, касающаяся возможности использования таких деталей при строительстве, которая бы учитывала особенности современных полимерных материалов и современные представления об их структуре. Учитывая отмеченное выше, был поставлен ряд экспериментов и выполнены эмпирические расчеты по исследованию напряженно-деформированного состояния сварных соединений полиэтилена способом стыковой сварки под углом.

Для исследования напряженно-деформированного состояния сварного полимерного соединения выбрали расчетную систему APROX, поскольку комплекс ориентирован на исследования напряженно-деформированного состояния разнообразных систем и конструкций в физически и геометрически нелинейных постановках, которые находятся под действием статической и динамической нагрузки. С его помощью можно исследовать в классической и уточненной постановках такие характерные особенности работы конструкций и систем, как большие перемещения, процесс пластической деформации слоев материала конструкции, зарождение и развитие трещин как по толщине, так и в плане конструкции при силовой, стационарной и нестационарной динамической нагрузке, определение спектра собственных форм и частот колебаний системы.

Расчетная система APROX построена на использовании метода конечных элементов, по которому затруднительно определять погрешность расчетов, поэтому для оценки последней использовали метод тестовых задач. Значения, полученные при решении такой тестовой задачи с помощью системы APROX, отличаются от аналитических, полученных при помощи классических формул сопротивления материалов, меньше чем на 5 %, что свидетельствует об эффективности и точности выбранного численного метода решения данной задачи [6].

В системе APROX был смоделирован процесс стыковой сварки под углом полимерных труб, имеющих сварные швы. Эта модель реализует максимально приближенные технологические условия получения сварных соединительных деталей из полимерных труб (типа тройник, отвод сегментный односекторный и многосекторный) способом стыковой сварки.

Для задания параметров в системе APROX использовали следующие расчетные данные (рис. 1): $D_1 = 110$ мм — наружный диаметр трубы;

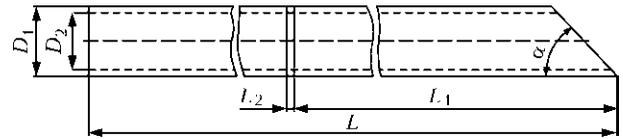


Рис. 1. Схема модельного образца полимерной трубы, сваренного с использованием процесса стыковой сварки

$D_2 = 90$ мм — внутренний диаметр трубы; $L_1 = 600$ мм — длина сегмента трубы; $L_2 = 10$ мм — длина сварного шва; $L = 2000$ мм — общая длина трубы; $2\alpha = 30, 45, 60, 90^\circ$ — соответственно угол сварки сегментов полимерных труб при производстве соединительных деталей (размеры и углы сварки выбраны по данным типовых размеров основных соединительных деталей, приведенных фирмой «Barbara Kaczmarek» (Польша)). Материал трубы — полиэтилен высокого давления марки ПЕ80; модуль Юнга $E = 690$ МПа; коэффициент Пуассона $k = 0,35$.

К трубе приложена осевая нагрузка $0,147$ МПа с торца. Срезанная под углом α часть трубы считалась закрепленной по всем направлениям.

Результаты расчета в системе APROX поставленной задачи представлены в таблице, из которой видно, что расчетный перепад распределения напряжений по сечению составляет от 15 до 55 %. Это свидетельствует прежде всего о том, что в разных точках сварного шва прочность будет разной. При этом следует отметить, что особый интерес представляет закономерность распределения удельного усилия прижатия по поверхности стыка.

На рис. 2 показаны диапазоны углов перепада напряжений относительно нижней образующей при стыковой сварке, которые одновременно являются диапазонами углов относительно нижней образующей, в границах которых необходимо установить дополнительные прижимающие устройства, чтобы нивелировать существующий перепад напряжений: $65...120^\circ$; $195...225^\circ$; $305...320^\circ$.

Результаты расчета напряженно-деформированного состояния сварного полимерного соединения в системе APROX

Угол сварки сегментов труб 2α , град	Эквивалентное напряжение по сечению поверхности сварки $\sigma_{\text{экр}} \cdot 10^3$, МПа	Диапазон распределения перепада эквивалентных напряжений, град
30	129,8	43...136
	150,5	193...222
	151,7	307...336
45	126,1	242...291
60	0,7282	41...140
90	74,03	65...120
	151,9	283...318
	156,8	199...234

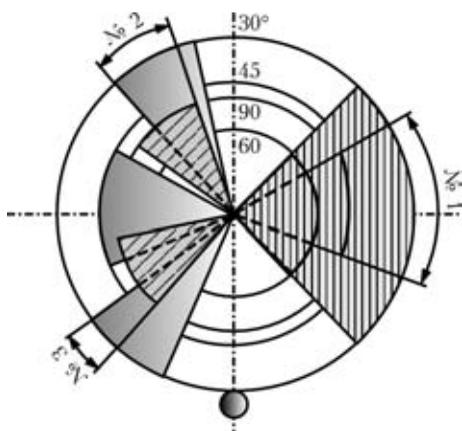


Рис. 2. Диаграмма распределения эквивалентных напряжений по сечению поверхности сварки (диапазоны углов перепада напряжений относительно нижней образующей при стыковой сварке: № 1 — 65...120; № 2 — 195...225; № 3 — 305...320°)

Основываясь на изложенных выше соображениях, разработано новое технологическое решение в виде устройства для сварки труб из термопластов, на которое получен патент Украины на полезную модель [7]. Согласно этому патенту полезная модель относится к области сварки пластмасс, а именно к устройствам для сварки труб из термопластов.

Схема устройства для сварки труб из термопластов приведена на рис. 3.

Для улучшения конструкции необходимо было создание условий равномерного прижатия свариваемых труб путем установки на центратор гидроцилиндров, которые имеют возможность перемещаться в диапазоне углов 65...120, 195...225, 305...320° относительно нижней образующей труб. Поставленная задача решается следующим образом: устройство для сварки труб 6 из термопластов содержит сварочный блок — центратор в виде установленных на направляющие 3 двух плит: подвижной 2 и неподвижной 1, на которых шарнирно закреплены зажимные хомуты 4 со сменными вкладышами (на чертеже не изображены), привод для центровки труб, их перемещения и создания сварочного давления, нагреватель и электронный блок управления, съемные гидроцилиндры 5 установлены на центраторе с возможностью их перемещения в установленном диапазоне углов или их установки на центраторе с первоначально разной длиной. Элементы крепления гидроцилиндров выполнены в виде посадочных отверстий типа «сережка» 7.

Наличие гидроцилиндров, расположенных в указанном диапазоне углов относительно нижней образующей труб, обеспечивает создание условий равномерного прижатия свариваемых труб и, как следствие, приблизительно одинаковую прочность сварного соединения на отдельных участках сварного шва.

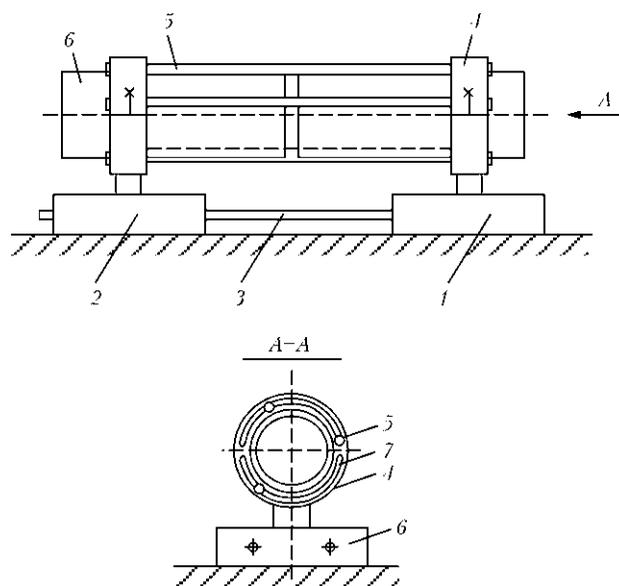


Рис. 3. Схема устройства для сварки труб из термопластов (обозначения см. в тексте)

Использование полезной модели позволяет значительно улучшить качество сварных соединений при стыковой сварке под углом и более широко использовать сварные соединительные детали при строительстве трубопроводов.

Выводы

1. Литые соединительные детали из полимерных материалов целесообразно заменять сварными, выполненными способом стыковой сварки.

2. Необходим учет напряженно-деформированного состояния сварных стыковых соединений, выполненных под разными углами, диапазона углов относительно нижней образующей при стыковой сварке, в границах которых требуется установка дополнительных прижимающих устройств, чтобы нивелировать существующий перепад напряжений в сварном шве.

3. Разработано новое технологическое решение в виде устройства для сварки труб из термопластов, на которое получен патент Украины на полезную модель.

4. Результаты работы могут найти применение при дальнейшем исследовании прочностных характеристик сварных соединительных деталей и оценке возможностей широкого внедрения таких соединительных деталей в строительство трубопроводов на территории Украины.

1. Esaulenko G. B., Kondratenko V. Y. Morphologie und Eigenschaften von Stumpfschweißungen an polymeren Werkstoffen // Kunststoffschweißen und kleben '92. — Dueßeldorf: DVS-Verlag, 1992. — P. 3-5.
2. Никонова Е. С. Обеспечение эксплуатационной надежности систем трубопроводного транспорта // Сварные швы полимерных материалов как упрочняющий элемент конструкции трубопровода: Материалы IV науч.-практ. семинара, Киев, 11 апр. 2006 г. — Киев: Экотехнология, 2006. — С. 106.



3. *Експериментальні дослідження фізико-механічних властивостей зварних стикових з'єднань полімерних матеріалів та рекомендації щодо оптимізації процесу зварювання* / К. С. Ніконова, В. Ю. Кондратенко, В. В. Гончаренко, І. В. Коваленко // Сварка и родственные процессы в промышленности: Материалы 2-го науч.-техн. семинара, Киев, 17 апр. 2007. — Киев: Экотехнология, 2007. — С. 94.
4. *Рекомендації по расчету и проектированию трубопроводов из термопластов /ЦНИИЭ инженерного оборудования: НПО «Пластик». — М.: Стройиздат, 1985.— 136 с.*
5. *Шестопал А. Н., Минеев Э. А. Справочник по сварке и склеиванию пластмасс / Под общ. ред. А. Н. Шестопала. — Киев: Техніка, 1986. — 192 с.*
6. *САПР. Програмний комплекс АПРОКС в розрахунках машин та апаратів хімічних виробництв / О. В. Гондлях, О. С. Сахаров, В. І. Сівецький та ін. — К.: ТОВ «Поліграф Консалтинг», 2006. — 136 с.*
7. *Пат. 24692 Україна. Устройство для сварки труб из термопластов / В. В. Гончаренко, И. В. Коваленко, Е. С. Никонова. — Оpubл. 10.07.2007, Бюл. № 10.*

The stress-strain state of butt welded joints made at different angles was studied, and distribution of equivalent stresses across the weld section was calculated. The ranges of angles to the lower generating line in butt welding, within which it is necessary to mount additional hold-down devices to level the existing gradient of stresses in the weld, were determined. A new device was designed for welding of thermoplastic pipes. The device is covered by the patent of Ukraine.

Поступила в редакцию 06.11.2008

УКРАЇНСЬКО-РОСІЙСЬКИЙ, РОСІЙСЬКО-УКРАЇНСЬКИЙ СЛОВНИК ІЗ ЗВАРЮВАННЯ (CD-ROM). — К., Довіра, 2008.

В рамках проекту «Словники України» Інститутом електросварки ім. Е. О. Патона совместно с Украинским языково-информационным фондом НАН Украины к 90-летию Национальной академии наук Украины издан «Українсько-російський, російсько-український словник із зварювання» в електронному форматі (CD-ROM).

Словарь, имея нормативный характер, содержит более 6,5 тыс. терминов и терминосочетаний, которые отражают основную терминологию по сварочным и родственным технологиям, актуализированную с действующими международными и национальными стандартами по сварке.

Словарь предназначен для инженерно-технических работников, студентов и переводчиков технической литературы.

Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины вышлет БЕСПЛАТНО «Словарь...» при условии направления заявки с точным указанием Ваших почтовых реквизитов на адрес:



Киев-150, ул. Боженко, 1, ИЭС им. Е. О. Патона, отдел № 41
Тел.: 287-62-68, факс: 287-74-57
E-mail: bernadsky@paton.kiev.ua