покрытия повторного использования (в смету заложено 10% новых плит). Они являются вспомогательной защитой трубопровода.

Графики температур воды в тепловой сети рассчитаны для теплоносителя – воды с расчётными параметрами в подающем трубопроводе $t_{01} = 115\text{ }^{\circ}\text{C}$, в обратном трубопроводе $t_{02} = 65\text{ }^{\circ}\text{C}$. В качестве источника теплоты принята РК «Савиново» в зимний период и Казанская ТЭЦ-2 в летний период. Расчётная температура наружного воздуха города Казани для проектирования отопления $t_0 = -31\text{ }^{\circ}\text{C}$.

При прокладке по улице применяются трубы в ППУ-изоляции Ø219мм и изопрофлекс диаметром до 160мм. Для труб теплотрассы в технических подпольях зданий применяют традиционную изоляцию. Но применение для теплоизоляции внутридомовых теплопроводов материалов на основе минеральной ваты, подверженных слеживанию и обладающих гигроскопичностью приводит к тому, что такие конструкции быстро теряют теплоизоляционные свойства в результате намокания. А это неизбежно при использовании традиционной изоляции в подвалах и технических подпольях жилых зданий. Слеживание характерно для всех мягких волокнистых теплоизоляционных материалов.

Был осуществлен сравнительный анализ стоимости теплоизоляционных материалов за 100м трубопровода. Стоимость СТУ-Ф изоляции оказалась намного выше. Но если учитывать, что изоляция с применением стеклопластика имеет срок службы не более 3-4 лет при установке в техподпольях с большой проходимостью. При подсчёте расходов на демонтаж, монтаж, вывоз и утилизацию теплоизоляции, становится рентабельным применение СТУ изоляции с усилением верхней части теплоизоляционного слоя, исключая его деформацию при нагрузках, сопоставимых с весом взрослого человека.

Модернизация систем теплоснабжения с точки зрения энергосбережения требует индивидуального подхода к каждому участку тепловой сети. В зависимости от расположения трубопроводов применимы сочетания различных видов теплоизоляции.

1. Ахмерова Г.М. Проблемы перехода от ЦТП на АИТП в Казани // Новости теплоснабжения. 2016. №5. С.37-39.
2. Хасанов Г.М., Залялова А.Р., Ахмерова Г.М. Внедрение ИТП как вариант решения проблемы изношенности системы теплоснабжения. Тенденции развития науки и образования. 2017. № 27-1. С. 40-41.
3. Фёдоров А.В., Ахмерова Г.М. Влияние влажности грунта на тепловые потери теплопроводов в непроходных каналах. Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2016. № 2 (36). С. 117-121

Старостин Н.П., Аммосова О.А.

**Технологические приемы управления тепловым процессом сварки
полиэтиленовых труб в раструб в условиях низких температур**

*ФГБУН Институт проблем нефти и газа СО РАН
(Россия, Якутск)*

doi:10.18411/lj-11-2018-160

idsp: lj-11-2018-160

Аннотация

На основе математического моделирования теплового процесса предлагается методика определения технологических приемов сварки полиэтиленовых труб в раструб при низких температурах из условия обеспечения протекания теплового процесса по закономерностям, соответствующим изменению температуры при сварке в условиях допустимых для сварки температур воздуха. Расчет технологических параметров сварки проводится с учетом изменения теплоты фазового превращения

полимера в интервале температур, используя данные дифференциального сканирующего калориметра и функцию изменения степени кристалличности.

Ключевые слова: сварка в раструб, полиэтиленовые трубы, фазовое превращение, степень кристалличности, низкие температуры.

Сварка в раструб широко распространена для сварки полипропиленовых труб, используемых при монтаже систем горячего и холодного водоснабжения. Считается, что такой способ сварки эффективен при монтаже систем с большим количеством поворотов. В настоящее время полиэтиленовые трубы широко применяются в регионах холодного климата для монтажа систем водоснабжения, прокладываемых подземным способом. Преимущество полиэтиленовых труб в таких системах заключается в том, что, полиэтилен не теряет свои свойства при низких температурах. При замерзании воды внутри в полиэтиленовой трубе не распространяется трещина, как это свойственно полипропиленовым трубам. С совершенствованием технологий производства полиэтиленовых труб и способов устранения отклонения их геометрии от идеальных форм применение сварки в раструб в строительстве трубопроводных систем будет расширяться.

В данной работе на основе математического моделирования теплового процесса предлагается методика определения технологических параметров сварки полиэтиленовых труб в раструб при низких температурах из условия обеспечения протекания теплового процесса по закономерностям, соответствующим изменению температуры при сварке в условиях допустимых для сварки температур воздуха.

При сварке труб в раструб свариваемые поверхности трубы и муфты оплавляются сменными насадками. Поверхность трубы оплавляется гильзой, а поверхность муфты — дорном, устанавливаемыми на нагревательную пластину сварочного аппарата. Тем не менее, при моделировании теплового процесса сварки ПЭ труб в раструб можно исключить моделирование теплового состояния сменных насадок, задавая в области контакта нагревательного элемента трубы и муфты известную линейную функцию от температуры, в силу стабильности температур на рабочих поверхностях сменных насадок [1]. На рис. 1 представлена расчетная схема раструбной сварки.

Рис. 1. Расчетная схема раструбной сварки полиэтиленовых труб:
1 – стенка трубы, 2 – стенка муфты

Обозначим Ω область стенки муфты и трубы. Нестационарное температурное поле при сварке с учетом теплоты фазового превращения в интервале температур описывается уравнением:

$$\left(c(T) - \rho^- L^{100\%} \frac{dX_c}{dT} \right) \frac{\partial T}{\partial t} = \text{div} (\lambda \text{grad } T), \quad r, z \in \Omega, 0 < t \leq t_m, \quad ($$

коэффициенты уравнения выражаются следующими соотношениями:

$$c(T) = \rho^+ c^+ + X_c(T) \cdot (\rho^- c^- - \rho^+ c^+), \quad \lambda(T) = \lambda^+ + X_c(T) \cdot (\lambda^- - \lambda^+),$$

c^-, ρ^-, λ^- и c^+, ρ^+, λ^+ – удельная теплоемкость, плотность и теплопроводность для твердой и жидкой фазы материала трубы соответственно, T – температура; X_C – степень кристалличности; $L^{100\%}$ – удельная теплота фазового превращения полностью кристаллического полимера.

Степень кристалличности полиэтилена определяется по формуле:

$$X_C(T) = \begin{cases} X_C^\infty, & T \leq T_s, \\ X_C^\infty - \frac{\int_{T_s}^T q(u) du}{v_T}, & T_s < T < T_L, \\ 0, & T \geq T_L, \end{cases}$$

где $q(T)$ – зависимость теплового потока от температуры, отнесенная к единице массы вещества, регистрируемая дифференциальным сканирующим калориметром (ДСК); T_s, T_L – температуры солидуса и ликвидуса; X_C^∞ – максимальная степень кристалличности исследуемого полимерного материала; v_T – скорость изменения температуры.

Следовательно,

$$L^{100\%} \frac{dX_C}{dT} = \begin{cases} 0, & T \leq T_s, \\ -\frac{q(T)}{v_T}, & T_s < T < T_L, \\ 0, & T \geq T_L, \end{cases}$$

Предлагаемый подход описания динамики температурного поля при сварке учитывает теплоту фазового превращения, используя данные ДСК и функцию степени кристалличности. Использование функции степени кристалличности позволило учесть, что полиэтилен кристаллизуется частично и доля кристаллической части не превышает максимального значения X_C^∞ . Задача определения динамики температурного поля при раструбной сварке в различных условиях решалась методом конечных разностей.

На рис. 2 представлено распределения температур полученные при различных температурах окружающего воздуха (ОВ) путем увеличения продолжительности оплавления t_h или температуры нагревательной пластины T_H от рекомендованных значений в условиях допустимых температур.

Расчеты показывают, что при изменении параметров сварки (продолжительности оплавления и температуры нагрева), несмотря на одинаковые размеры зон оплавления, распределение температур существенно отличаются. Различие состоит в том, что при повышении температуры нагрева точки периферии прогреваются меньше, чем при увеличении продолжительности оплавления. При увеличении продолжительности оплавления при той же температуре нагревательной пластины зона термического влияния получится меньшего размера, чем при стандартной сварке, которая приведет к закономерности охлаждения сварного шва, отличающейся от динамики температурного поля при сварке в условиях допустимой температуры воздуха.

Предположим, что при охлаждении для полученных сварных соединений, с одинаковыми размерами зон оплавления, каким-либо способом обеспечивались одинаковые условия охлаждения, как при температуре окружающего воздуха 20 °С. На рис. 3 представлены распределение температур в соединениях, в которых обеспечивались одинаковые размеры зон оплавления, после 2 минут свободного охлаждения при температуре 20°С.

Результаты расчетов показывают, что при сварке при низких температурах обеспечение одинаковых объемов расплава и одинаковых условий охлаждения не позволяет получить динамику температурного поля, свойственную при сварке в раструб полиэтиленовых труб в условиях допустимых для сварки температур ОВ. Вычислительными экспериментами показано, что предварительный подогрев без обеспечения необходимых условий охлаждения, также не приводит к формированию качественного сварного шва.

Таким образом, вычислительными экспериментами показана необходимость при сварке в раструб при температурах воздуха ниже нормативных добавления в стандартную процедуру технологических операций сварки предварительного подогрева свариваемых участков труб и всей муфты, а также теплоизоляции при охлаждении. Работа выполнена в рамках госзаказа Министерства науки и высшего образования РФ (№ 0377-2018-0001).

Рис. 2. Распределение температур в сечении вертикальной плоскостью сварного раструбного соединения трубы и муфты при различных температурах ОВ и параметрах сварки: а – 20°C , $t_h=24$ с, $T_H = 260^{\circ}\text{C}$; б – -40°C , $t_h=36$ с, $T_H = 260^{\circ}\text{C}$; в – -40°C , $t_h=24$ с, $T_H = 290^{\circ}\text{C}$

Рис. 3. Распределение температур после 2 мин свободного охлаждения в сечении вертикальной плоскостью сварного раструбного соединения трубы и муфты, полученных при различных температурах ОВ и параметрах сварки: а – 20°C , $t_h=24$ с, $T_H = 260^{\circ}\text{C}$; б – -40°C , $t_h=36$ с, $T_H = 260^{\circ}\text{C}$; в – -40°C , $t_h=24$ с, $T_H = 290^{\circ}\text{C}$

1. Старостин Н.П., Аммосова О.А. Определение технологических параметров сварки полипропиленовых труб в раструб в условиях низких температур // Вестник Международной академии холода. 2018. № 3. С. 29–36.

Старостин Н.П., Васильева М.А.

Расчет предельных нагрузочно-скоростных режимов полимерных уплотнений по температурному лимитирующему условию

ФГБУН Институт проблем нефти и газа СО РАН
(Россия, Якутск)

doi:10.18411/lj-11-2018-161

idsp: ljjournal-11-2018-161

Аннотация

Рассматриваются модели динамики температурного поля в манжетном полимерном уплотнении вращающего вала с учетом и без учета теплоотвода через