DOI: 10.17117/na.2016.10.03.290

<http://ucom.ru/doc/na.2016.10.03.290.pdf>

Поступила (Received): 01.10.2016

Старостин Н.П., Васильева М.А. **Сокращение продолжительности предварительного** **подогрева для сварки полипропиленовых труб** **в раструб в условиях низких температур**

Starostin N.P., Vasilyeva M.A.
Reduction of duration of preheating for welding of the
polypropylene pipes into the socket at low temperatures

Рассматривается этап подогрева свариваемых концов полипропиленовой трубы и муфты с помощью специальных сменных насадок для последующей сварки в раструб в условиях низких температур. Моделируется тепловой процесс в полипропиленовой трубе, контактирующей со сменной насадкой, в основание которой поддерживается постоянная температура с помощью нагревательной пластины с известной температурой. Для сокращения продолжительности подогрева рассмотрен пример с температурой нагревательного элемента +35 °C

Ключевые слова: полипропиленовая труба, температура, математическая модель, подогрев

Старостин Николай Павлович

Доктор технических наук, профессор, зав. лабораторией

*Институт проблем нефти и газа Сибирского отделения Российской академии наук
г. Якутск, ул. Автодорожная, 20*

Васильева Мария Александровна

Кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник

*Институт проблем нефти и газа Сибирского отделения Российской академии наук
г. Якутск, ул. Автодорожная, 20*

The stage of preheating of the welded ends of the polypropylene pipe and coupling by means of special replaceable nozzles for subsequent welding into the socket at low temperatures is considered. Thermal process in the polypropylene pipe contacting to a removable nozzle in which basis constant temperature by means of a heating plate with the known temperature is maintained is simulated. For reduction of preheating duration an example with temperature of heating element of +35 °C is reviewed

Key words: polypropylene pipe, temperature, mathematical model, heating

Starostin Nikolay Pavlovich

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Laboratory

*Institute of oil and gas problems Siberian branch of the Russian academy of sciences
Yakutsk, Avtodorojnaya st., 20*

Vasilyeva Mariya Aleksandrovna

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior Researcher

*Institute of oil and gas problems Siberian branch of the Russian academy of sciences
Yakutsk, Avtodorojnaya st., 20*

Согласно нормативным документам контактную сварку полипропиленовых труб рекомендуется проводить при температурах воздуха не ниже 0 °C [1]. В случаях необходимости проведения сварки при других температурах воздуха

работы рекомендуется выполнять в укрытиях (палатки, шатры и т.п.) с обеспечением подогрева зоны сварки [2].

В работах [3-4] предложен и научно обоснован способ стыковой сварки полиэтиленовых (ПЭ) труб при низких температурах, основанный на управлении тепловым процессом сварки в окрестности сварного соединения. Установлено, что предварительный подогрев свариваемых труб на небольшую длину вылета, оплавление торцов труб и осадка в стандартном режиме с дальнейшим охлаждением сварного соединения в теплоизоляционной камере определенного размера позволяет получить соединение с необходимым качеством. Для разработки аналогичного способа сварки в раструб полипропиленовых труб при температурах воздуха ниже нормативных необходимо исследовать тепловой процесс на всех этапах сварки, включая предварительный подогрев.

В данной работе рассматривается этап предварительного подогрева свариваемых концов полипропиленовой трубы и муфты с помощью сменных насадок для последующей сварки при низких температурах.

Тепловые процессы подогрева свариваемых концов трубы и муфты аналогичны. Отличия заключаются только в диаметрах и длине вылета, на которую подогреваются труба и муфта. По конструктивным особенностям муфта может быть подогрета сменной насадкой на длину раструба. На рис. 1 представлена расчетная схема подогрева стенки трубы (муфты) с помощью нагревательной пластины сварочного аппарата со сменной насадкой.

Рис. 1. Расчетная схема подогрева стенки трубы (муфты):
1 – стенка трубы (муфты); 2 – сменная насадка для подогрева;
3 – слой теплоизоляции; 4 – нагревательная пластина сварочного аппарата

Положим, что сменная насадка предварительно разогрета с помощью нагревательной пластины с температурой $T_{нагр}$ в течение определенного времени и его температурное поле $T_{нас}(r,z)$ известно из расчета. Нестационарное температурное поле в стенке трубы при подогреве сменной насадкой, в воздухе внутри трубы и в сменной насадке с теплоизоляцией описывается уравнением теплопроводности в цилиндрических координатах:

$$C_i \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda_i}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \lambda_i \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}, \quad (1)$$

$$0 < r < R_4, \quad 0 < z < L, \quad 0 < t \leq t_m$$

с начальным условием:

$$T(r, z, 0) = T_{окр}, \quad R_1 \leq r \leq R_2, \quad L_1 \leq z \leq L, \quad (2)$$

$$T(r, z, 0) = T_{нас}, \quad \begin{cases} 0 \leq r \leq R_1, & 0 \leq z \leq L_3, \\ R_1 \leq r \leq R_2, & 0 \leq z \leq L_1, \\ R_2 < r \leq R_4, & 0 \leq z \leq L_3, \end{cases} \quad (3)$$

и граничными условиями:

$$T(r, 0, t) = T_{нагр}, \quad \lim_{r \rightarrow 0} \left(r \lambda_i \frac{\partial T}{\partial r} \right) = 0, \quad \lambda_i \frac{\partial T}{\partial r} \Big|_G = -\alpha (T|_G(r, z, t) - T_{окр}), \quad (4)$$

где G – свободная поверхность, на которой происходит конвективный теплообмен с окружающим воздухом с коэффициентом α , λ_i – коэффициент теплопроводности, C_i – объемная теплоемкость, индекс $i=1$ для материала трубы (муфты), $i=2$ – для насадки, $i=3$ – для теплоизоляционного материала. Задача решалась численно методом конечных разностей [5].

Расчеты проводились при следующих исходных данных: $C_1=1,76 \cdot 10^6$; $C_2=3,82 \cdot 10^6$; $C_3=13,4 \cdot 10^3$; $\frac{Дж}{м^3 \cdot ^\circ C}$; $\lambda_1=0,22$; $\lambda_2=53$; $\lambda_3=0,05$; $\frac{Вт}{м \cdot ^\circ C}$; $\alpha=10$, $\frac{Вт}{м^2 \cdot ^\circ C}$.

Рассматривался процесс подогрева ПП трубы для горячего водоснабжения PN20 Ø110 с толщиной стенки 18,4 мм. В начальный момент времени температура в стенке трубы равна температуре окружающего воздуха минус 40 °С. Варьированием значений определялась температура нагревательной пластины $T_{нагр}$, продолжительность подогрева, при которых во всех точках стенки трубы с длиной вылета $l_{раструб}$ достигалось близкое к однородному распределение температуры со значениями в допустимом для сварки интервале.

Расчеты при подогреве с температурой нагревательной пластины 20 °С показали, что для получения однородного распределения температуры в пределах раструба (36 мм) продолжительность подогрева составляет 20 минут. Полученное время подогрева можно сократить повышением температуры нагревательной пластины. Результатом сокращения времени воздействия и повышения температуры нагревательного инструмента будет существенная неоднородность распределения температуры. На рис. 2 представлено распределение температуры после 9 минут воздействия нагревательным инструментом с температурой 35 °С. Полученная неоднородность снижается последующим свободным охлаждением стенки трубы на открытом воздухе с низкой температурой. Распределение температуры после 1 минуты свободного охлаждения представлено на рис. 3. Полученное распределение в пределах длины раструба на 7-8 градусов отклоняется от однородного распределения температуры 22 °С. Такое отклонение составляет около 5 % от температуры плавления полипропилена и 3 % от температуры нагревательного инструмента при сварке в раструб ПП труб, что позволяет полученное отклонение распределения температуры от однородного считать незначительным. Таким образом, повышение температуры нагревательного инструмента до 35 °С позволяет сократить время предварительного подогрева для сварки ПП труб для горячего водоснабжения в 2 раза, по сравнению с продолжительностью подогрева инструментом с температурой 20 °С.

Рис. 2. Распределение температуры по толщине трубы PN20 Ø110 при $T_{окр} = -40^{\circ}\text{C}$, $T_{нагр} = +35^{\circ}\text{C}$ за 9 минут подогрева

Полученные результаты рассмотренного примера могут быть обобщены для других размеров труб и температур воздуха ниже нормативных. Расчетами динамик температурных полей показано, что нагревательная пластина с температурой 35 С может быть эффективно использована для подогрева ПП труб с диаметрами менее 110 мм.

Рис. 3. Распределение температуры по толщине трубы PN20 Ø110 при $T_{окр} = -40^{\circ}\text{C}$, $T_{нагр} = +35^{\circ}\text{C}$ после охлаждения в течении 60 сек

Таким образом, предлагаемая методика позволяет сократить продолжительность предварительного подогрева торцов и определить технологические параметры подогрева (продолжительности подогрева и охлаждения для выравнивания температур) для труб горячего водоснабжения (категории PN20) различного диаметра в интервале низких температур воздуха.

Список используемых источников:

1. СП 40-101-96. Свод правил по проектированию и монтажу трубопроводов из полипропилена «Рандом сополимер».
2. СП 40-102-2000. Проектирование и монтаж трубопроводов систем водоснабжения и канализации из полимерных материалов. Общие требования.
3. Старостин Н.П., Герасимов А.И., Аммосова О.А. Способ сварки полимерных труб. Патент РФ № 2343331 RU F16L 13/00, 47/00. Бюл. № 1, 2009.
4. Starostin N.P., Vasil'eva M.A., Danzanova E.V., Ammosova O.A. Butt welding of polyethylene pipes at low temperatures // *Welding International*. 2013. Vol. 27. No. 4. P. 318-320.
5. Самарский А.А. Теория разностных схем. М.: Наука, 1977. 656 с.

© 2016, Старостин Н.П., Васильева М.А.

Сокращение продолжительности
предварительного подогрева для сварки
полипропиленовых труб в раструб в условиях низких
температур

© 2016, Starostin N.P., Vasilyeva M.A.

Reduction of duration of preheating for welding of the
polypropylene pipes into the socket at low
temperatures