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

манжету. Расчетами показана равнозначность рассматриваемых моделей и необходимость учета скорости скольжения в коэффициенте теплоотдачи на поверхности вращающегося вала в окружающую среду. Приводятся результаты расчета предельных кривых «контактное давление – скорость скольжения» по лимитирующему температурному условию.

Ключевые слова: математическая модель, температура, уплотнитель, вал, скорость скольжения, контактное давление.

В данной работе исследуется тепловой режим уплотнения вращающегося вала. Расчеты теплового режима позволяют выбирать скорости скольжения и давления в уплотнениях по температурному лимитирующему условию. Зачастую температуру в зоне трения уплотнения определяют по приближенным формулам, полученным при упрощающих допущениях, основным из которых является допущение, что вся теплота, выделившаяся в результате трения, отводится в вал [1-2]. При учете теплоотвода в манжету уплотнения вводят коэффициенты распределения тепловых потоков, пропорциональные теплопроводностям материалов вала и манжеты [3]. Рассмотрим расчетные схемы теплового режима уплотнений без учета (модель 1) и с учетом теплоотвода в манжету (модель 2) на рис. 1 представлены.

Нестационарное температурное поле в вале и в манжете уплотнения вращающегося вала в осесимметричной постановке описывается дифференциальным уравнением теплопроводности в цилиндрических координатах с начальными и граничными условиями:

$$c\rho \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r\lambda \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right), \quad r, z \in D, 0 < t \leq t_m, \quad (1)$$

$$T(r, z, 0) = T_0, \quad (2)$$

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial n} \Big|_{\Gamma} = \alpha_i (T|_{\Gamma} - T_0), \quad i = 1, 2, \quad (3)$$

где T – температура, c – теплоемкость, ρ – плотность, λ – коэффициент теплопроводности, с однородным начальным условием, α_1 , α_2 – коэффициенты теплоотдачи.

В зоне трения на границе $\Gamma_Q = \{r=r_0, z: z_1 \leq z \leq z_2\}$ в модели 1 (рис.1-а) условие фрикционного тепловыделения задается в виде:

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial n} \Big|_{\Gamma_Q} = Q(r, z, t), \quad (4)$$

в модели 2 (рис.1-б) – в виде:

$$\lambda_y \frac{\partial T}{\partial r} \Big|_{r=r_0+0} - \lambda_s \frac{\partial T}{\partial r} \Big|_{r=r_0-0} = Q(z, t), \quad z_1 \leq z \leq z_2, \quad (5)$$

$$T(r_0 + 0, z, t) - T(r_0 - 0, z, t) = 0, \quad z_1 \leq z \leq z_2.$$

Рис. 1. Расчетная схема теплового режима без учета (а) и с учетом (б) теплоотвода в манжету: 1 – вал; 2- манжета

Уравнение (1) с начальными и граничными условиями решается методом конечных элементов. Для численной реализации вычислительного алгоритма использовалась программа свободного доступа Dolfin/FEniCS.

Моделирование температурных полей проводилось для вала с диаметром 3 см и длиной 21 см и манжеты уплотнения с шириной 1 см и толщиной 1,5 мм. Температура окружающего воздуха равна $T_0 = 20^\circ\text{C}$. Теплофизические свойства материала вала и уплотнителя брались следующими: коэффициенты теплопроводности $\lambda_v = 30,98$; $\lambda_y = 0,34$ Вт/(м·К); объемные теплоемкости $c_v\rho_v = 5,19 \cdot 10^6$; $c_y\rho_y = 2,02 \cdot 10^6$ Дж/(м³·К). Удельная мощность фрикционного тепловыделения составляла 22,608 Вт. Коэффициент трения равен $f=0,05$.

Коэффициенты теплоотдачи в окружающую среду (воздух или жидкость) определялись по формуле, представленной в [4]. В качестве жидкости для расчетов бралось масло АМГ-10.

Для практических расчетов мощность тепловыделения при трении вычисляют по формуле:

$$Q = fPvS, \quad (6)$$

где f – коэффициент трения, P – контактное давление, v – скорость скольжения; S – номинальная площадь контакта.

Рис.2. Распределение температурного поля в вале и манжете уплотнения после 10 секунд вращения вала со скоростью $v=0,5$ м/с и $Q=22,608$ Вт

На рис. 2 представлено распределение температуры в паре трения после 10 секунд работы уплотнения, показывающее, что распределение температуры в вале по радиальной переменной становится однородной достаточно быстро.

Анализ температурного поля в зависимости от местоположения манжеты по длине вала показывает, что разница температур на поверхности вала, рассчитанные по моделям 1 и 2, уменьшается по мере увеличения длины вала, контактирующей с рабочей жидкостью (рис. 3-а). В случае минимального соприкосновения вала с рабочей жидкостью, при которой разница в температурах поверхности вала по рассматриваемым моделям должна быть максимальной, составляет 2,6 % от температуры в зоне трения (рис.3 -б). Таким образом, для расчета температурных полей в манжетном полимерном уплотнении модели 1 и 2 практически равнозначны.

Рис. 3. Зависимости температур на поверхности вала при $Q=22,608$ Вт, $v=0,5$ м/с, $t=7200$ с: 1, 1' – с учетом теплоотвода в манжету; 2, 2' – без учета теплоотвода в манжету

Рис.4. Предельные кривые «контактное давление – скорость скольжения» с учетом зависимости коэффициента теплоотдачи α от скорости скольжения (1) и постоянном значении α (2), рассчитанном при скорости скольжения 5 м/с

Для определения допустимых нагрузочно-скоростных параметров на основе теплового расчета уплотнений на основе фторопласта используются предельные кривые «контактное давление – скорость скольжения», рассчитанные по лимитирующему условию: $T < T_{\text{пред}}$ ($T_{\text{пред}} = 220$ °С) и позволяющие определять при известном коэффициенте трения допустимые значения давлений в уплотнении и скоростей скольжения. На рис. 4 допустимые сочетания значений давлений и скоростей скольжения для рассматриваемого уплотнения представляют координаты точек, ниже предельных кривых. Расчеты показывают, что значения предельных нагрузок, определенные с учетом зависимости коэффициента теплоотдачи от скорости скольжения и при предположении его постоянства, могут существенно различаться (до 38 %).

Таким образом, определения допустимых нагрузочно-скоростных параметров полимерных уплотнений по температурному лимитирующему условию необходимо учитывать зависимость коэффициента теплоотдачи от скорости скольжения.

Работа выполнена в рамках Госзаказа Министерства науки и высшего образования РФ (№ 0377-2018-0001)

1. Зайцева К.В. Нормализация уплотнений вращающихся валов // Станки и инструмент. – 1956, №9. – С. 37-39.
2. Ваксман А.В. О стандартизации резиновых уплотнителей в гидравлических устройствах // Стандартизация. – 1957, №2. – С. 35-39.
3. Кондаков Л.А. Уплотнение гидравлических систем. – М.: Машиностроение, 1972. – с240.
4. Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена. Изд. 5-е. М.: Атомиздат, 1979. – 416 с.

Старостин Н.П., Кондаков А.С., Тихонов Р.С.

**Определение технологических параметров электромужфтовой сварки
полиэтиленовых труб при низких температурах на основе анализа термоупругих
напряжений**

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

doi:10.18411/lj-11-2018-162

idsp: ljjournal-11-2018-162

Аннотация

Приводятся результаты вычислительных расчетов с варьированием управляющих параметров электромужфтовой сварки полиэтиленовых труб при низких