

На основании экспериментальных результатов была реализована автоматизированная методика расчета на прочность образцов с ППУ, а также проведены испытания на водопоглощение в соответствии с ГОСТ 30732-2006 и определение адгезионной прочности соединения теплоизолирующего материала с металлической трубой.

Нагружение образцов и построение экспериментальных зависимостей осуществлялось на испытательной машине Instron 5567 в ИММС им. В.А. Белого НАН Беларуси. Нагружение осуществлялось в диапазоне скоростей от 10 до 50 мм/мин.

Заключение. В результате выполненной работы построена автоматизированная методика определения физико-механических свойств материалов труб с ППУ и изоляцией и оболочки ПИ-труб; разработана методика проведения экспериментов (и проведены эксперименты), которая соответствует ГОСТ, а алгоритм дополнительно включает – определение плотности материала муфты и оболочки ПИ-трубы, определение процентного содержания сажи в материале оболочки ПИ-трубы, определение показателя текучести расплава (ПТР), испытания на термоусадку, статические механические испытания, определение статических механических характеристик материала трубы-оболочки, результаты испытания полиэтиленовой и оцинкованной трубы-оболочки и другие свойства, характеризующие работу системы. Разработанный подход легко можно применить на другие трубопроводные системы, использующие новые композиционные материалы.

Список использованных источников

1. Проектирование и строительство тепловых сетей бесканальной прокладки из стальных труб с индустриальной теплоизоляцией из пенополиуретана в полиэтиленовой оболочке, СП 41-105-2002 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://tgs.v.uzcoz.ru/load/normativy/sp_41_105_2002_proektirovanie_teplovykh_setej_beskanalnoj_prokladki_iz_stalnykh_trub_s_ppu_izoljaciej/3-1-0-4 16. – Дата доступа: 03.11.2011.
2. Batallas, M. Determining the performance of polyurethane foam pipe insulation for high temperature service / M. Batallas, H. Yih, P. Singh //Northern area western conferenc Calgary, Alberta. february 6-9, 2006. – P. 1-18.
3. Расчетно-экспериментальное исследование напряженно-деформированного состояния цилиндрических труб с учетом неоднородности материала / В. В. Можаровский [и др.] // Проблемы физики, математики и техники. – 2009. – № 1. – С. 77-82.
4. Программный комплекс контроля и диагностики сосудов и трубопроводов / В. В. Можаровский [и др.] // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2002. – № 1. – С. 28-31.
5. Концепція автоматизації процесу контролю технологічного стану промислових трубопроводних систем, посудин і резервуарів / В. В. Можаровський [та ін.] // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Інформаційні системи і мережі». – 2011. – № 699. – С. 175-184.

УДК 674.494.051.532.1

С.П. Корниенко, канд. техн. наук

П.И. Чередниченко, д-р техн. наук

Черниговский государственный технологический университет, г. Чернигов, Украина

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОХЛАЖДЕНИЯ НИТИ С УЧЕТОМ ЗАМАСЛИВАНИЯ И ТРЕНИЯ

В статье приводятся результаты теоретического исследования процесса охлаждения формируемой нити с учетом влияния взаимодействия термодинамики и теплообмена отдельных элементарных нитей между собой, а также с окружающей средой. Показано, что испаряющаяся из замасливателя вода существенно повышает скорость охлаждения, а трение замасленной нити на 5-8 % меньше, чем незамасленной.

Ключевые слова: формируемая нить, охлаждение, замасливание, теплообмен, трение, испарение.

У статті наведені результати теоретичного дослідження процесу охолодження нитки, що формується з урахуванням впливу взаємодії термодинаміки і теплообміну окремих елементарних ниток між собою, а також: з

наволишинім середовищем. Показано, що вода, яка випаровується з замааслювана суттєво підвищує швидкість охолодження, а тертя замааслюваної нитки на 5-8 % менше, ніж незамааслюваної.

Ключові слова: нитка, що формується, охолодження, замааслювання, теплообмін, тертя, випаровування.

Theoretical experimental results of the cooling process of a filament during the spinning process taking into account the interaction between hydrodynamics and heat exchange of individual filament and environment are given in the article. It is shown that -water evaporation out of lubricant essentially rises the cooling speed, but friction of lubricated filament is 5-8% less than unlubricated filament.

Key words: filament being spun, cooling, lubrication, heat exchange, friction, evaporation.

Актуальность проблемы. Одним из важнейших процессов в производстве химических нитей из расплавов полимеров, определяющих структуру и свойства нитей, является процесс охлаждения нитей. От правильного проведения процесса обработки нити на данном участке зависят такие важные показатели, как равномерность по диаметру, ориентация элементарных нитей, способность к вытягиванию, качество нанесения замаасливателя, а, следовательно, и качественные показатели вырабатываемой нити. Малоизученность особенностей процесса охлаждения нити приводит к тому, что в промышленности применяются одинаковые по конструкции охлаждающие устройства, как для охлаждения пучка нитей, так и для охлаждения единичных нитей, что приводит к снижению их качества и неэкономичному расходу дорогостоящего кондиционированного обдувочного воздуха [1]. В связи с этим, перед разработчиками оборудования, технологами и машиностроителями возникает необходимость создать не просто работающие устройства, а найти оптимальные или близкие к оптимальным варианты технологических режимов и параметров.

Таким образом, проблема теоретического исследования процесса охлаждения нитей с учетом влияния взаимодействия гидродинамики и теплообмена отдельных элементарных нитей между собой, а также с окружающей средой является актуальной.

Постановка задачи. Отсутствие научно-обоснованной инженерной методики проектирования охлаждающих устройств не позволяет разрабатывать охлаждающие устройства, отвечающие современным требованиям. При проектировании охлаждающих устройств возникает проблема прогнозирования влияния различных факторов на процесс формования и выбора оптимальных режимов охлаждения нитей. Достоверное прогнозирование возможно при использовании математического аппарата, адекватно описывающего реальный технологический процесс формования нити. Отсюда возникает задача разработки математической модели охлаждения движущегося пучка нитей, отображающей влияние процесса замасливания нити на охлаждение и трение движущегося пучка нитей, с учетом влияния взаимодействия гидродинамики и теплообмена отдельных элементарных нитей между собой, а также с окружающей средой.

Основная часть. Формование нитей из расплава является сложным процессом, для которого до настоящего времени не разработана достаточно полная комплексная математическая модель, которая позволила бы учесть все факторы, влияющие на температурное состояние и деформацию формируемых нитей. На существующих формовочных машинах на замасливающем устройстве комплексная нить собирается в пучок и движется затем компактным пучком до приемного устройства. С момента нанесения замасливателя в системе полимер – замасливатель происходят следующие физические процессы:

- выравнивание температуры полимер-замасливатель;
- охлаждение системы полимер-замасливатель за счет испарения летучих компонентов замасливателя;
- охлаждение пучка за счет теплопроводности после испарения летучих компонентов замасливателя;
- взаимодействие пучка и окружающей среды, влияющее на тянущее усилие.

Процесс выравнивания температур полимера и замазливателя может быть оценен следующим образом. Пусть r_n – радиус собранного пучка элементарных нитей; R – радиус пучка нитей, покрытых замазливателем.

Из сопряженных уравнений теплообмена движущейся системы полимер – замазливатель [2; 3] можно получить, опуская промежуточные уравнения, оценку расстояния пройденного пучком от точки нанесения замазливателя до точки выравнивания температур $L_{e.m}$. Тогда оценка отношения:

$$\xi_x = \frac{L_{e.m}}{r_n}$$

описывается следующими соотношениями:

$$\xi_x = -\frac{\ln\left(\frac{0,01}{A_1}\right)}{\sigma}; \sigma = \frac{x_1^2}{\alpha x_1 + (1-\alpha)x_2}, \quad (1)$$

где $x_1 = \frac{\rho_n C_{pn} R \cdot u_n}{\lambda_n}$; $x_2 = \frac{\rho_3 C_{p3} R \cdot u_n}{\lambda_3}$; $\rho_n, C_{pn}, \lambda_n$ – теплофизические параметры нити; $\rho_3, C_{p3}, \lambda_3$ – теплофизические параметры замазливателя; $x_1 = 4$ – первый корень функции I_1 ; α – отношение массы нити к суммарной массе полимер-замазливатель.

Порядок величины A_1 может быть определен из уравнения:

$$A_1 \int_0^R r I_0(x, r) dr = \int_0^{r_n} (T_{n_0} - T_*) r I_0(x, r) dr + \int_{r_n}^R (T_{3_0} - T_*) r I_0(x, r) dr,$$

где T_{n_0} – начальная температура нити; T_{3_0} – начальная температура замазливателя; T_* – установившаяся температура системы полимер-замазливатель.

Для рассматриваемого случая $A_1 \sim 0(1)$, откуда $\xi_x \sim 0(10^3)$, что для рассматриваемых значений параметров полимера и замазливателя (полимер - ПКА-б, замазливатель – вода и жировая эмульсия) дает значение $L_{e.m} \approx 0(0,01 \text{ м})$.

Таким образом, длина участка выравнивания температур по сравнению с длиной участка “точка замазливания – приемное устройство” достаточно мала и при расчете теплообмена ею можно пренебречь. Тогда начальная температура системы полимер – замазливатель определяется из зависимости:

$$T_* = \frac{\alpha C_{pn} T_{n_0} + (1-\alpha) C_{p3} T_{3_0}}{\alpha C_{pn} + (1-\alpha) C_{p3}}. \quad (2)$$

Уравнение теплообмена движущейся системы пучок – замазливатель в одномерной постановке с использованием критериальных соотношений описывающих теплоотдачу за счет вынужденной конвекции и испарения, имеет вид:

$$\frac{dT_n}{dx} = -\frac{2}{\rho_\Sigma C_{p\Sigma} R u_n} \left\{ \frac{\lambda_z N_{um}}{2R} (T_n - T_\infty) + \kappa \rho_z \frac{DN_{uc}}{2R} (C_{нас.} - C_\infty) \right\}, \quad (3)$$

а выражение для расхода испаряющегося замазливателя по длине пучка имеет вид:

$$G = \pi \rho_z \int_0^x DN_{uc} (C_{нас.} - C_\infty) dx. \quad (4)$$

В уравнениях (3) и (4) используются следующие обозначения: $N_{um} = KP_r^{0,3} R_e^{0,334}$ – конвективное число Нуссельта; $N_{uc} = KS_m^{0,3} R_e^{0,334}$ – диффузионное число Нуссельта;

$C_{p\Sigma} = \alpha C_{pn} + (1 - \alpha) C_{pz}$ – эффективная теплоемкость системы; λ_c – теплоемкость окружающей среды; T_∞ – температура окружающей среды; K – удельная теплота парообразования воды (T_n); T_n – температура системы; ρ_m – плотность окружающей среды; D – коэффициент диффузии водяных паров; $C_{нас.}$ – концентрация насыщенных паров воды у нити; C_∞ – концентрация насыщенных паров воды в окружающей среде; $P_r = \frac{\mu_c C_{pz}}{\lambda_m}$ – число Прандтля окружающей среды; $S_m = \frac{v_c}{D}$ – число Шмидта окружающей среды; $R_e = \frac{2u_n R}{v_c}$ – число Рейнольдса для пучка; $\rho_\Sigma = \alpha \rho_n + (1 - \alpha) \rho_3$ – эффективная плотность системы полимер-замасливатель.

Для определения взаимного трения замасленного пучка и окружающей среды можно воспользоваться следующим выражением [3]:

$$\frac{\tau_3}{\tau_0} = \left\{ 1 - 0,385 \rho_c \left(\frac{v_c}{2R} \right)^{0,61} \left[\frac{\mu_3}{R \ln(R/r_n)} u_n^{1,39} + 1,39 \rho_c \left(\frac{v_c}{2R} \right)^{0,61} 0,385 u_n^{1,39} \right] \right\}, \quad (5)$$

где τ_3 – напряжение силы трения; τ_0 – напряжение силы трения на сухой нити; μ_3 – динамическая вязкость замасливателя.

Коэффициент трения в режиме турбулентного обтекания:

$$C_f = 0,77 R_e^{-0,61}. \quad (6)$$

По предложенной модели были проведены расчеты для системы пучок нитей ПКА - 6 – замасливатель (вода 90 %, масляная эмульсия 10 %), исходя из следующих данных:

– **для пучка нитей:** плотность – $\rho_n = 111,8$ кг/м³; теплоемкость – $C_{pn} = 2464$ Дж/(кг·°К); теплопроводность – $\lambda_n = 0,38$ Вт/м·°К;

– **для замасливателя:** плотность – $\rho_3 = 1000$ кг/м³; теплоемкость – $C_{pz} = 4190$ Дж/(кг·°К); теплопроводность – $\lambda_3 = 0,575$ Вт/м·°К;

– **начальные значения:** длина участка “точка замасливания – приемное устройство” – $L = 2,8$ м; скорость движения пучка – $u_n = 66,67$ м/с; температура замасливателя – $t_0 = 22$ °С; температура окружающей среды – $t_3 = 24$ °С; влажность окружающей среды – $\phi = 55 \pm 5$ %; эффективный радиус пучка – $r_n = \begin{cases} 0,000024 \text{ м} \\ 0,000031 \text{ м} \end{cases}$; начальная температура пучка

– $T_{n0} = \begin{cases} 36,3 \text{ } ^\circ\text{C} \\ 50,3 \text{ } ^\circ\text{C} \end{cases}$; отношение массы замасливателя к массе полимера – $\alpha = \begin{cases} 5 \% \\ 50 \% \\ 100 \% \end{cases}$.

Расчеты по полученной математической модели показали, что, несмотря на невысокую температуру полимера, из-за большой скорости движения, вода, составляющая до 90 % замасливателя, испаряется даже при больших значениях α на небольших расстояниях от точки нанесения замасливателя. Вместе с тем, испарение воды существенно повышает скорость охлаждения. Поскольку, испаряющаяся часть замасливателя испаряется на малых длинах, влиянием вдува в пограничный слой можно пренебречь; оценка же трения на сухой и замасленной поверхности показывает, что напряжение трения на замасленной поверхности меньше на 5-8 %, чем на незамасленной.

Выводы. Полученная математическая модель позволила установить, что трение замасленной нити меньше, чем незамасленной. Также установлены теоретические зависимости для определения расхода испаряющегося замасливателя по длине пучка и температуры нити.

Список использованных источников

1. Панкеев А. М. Исследование процессов теплообмена при формировании синтетического волокна: дис. канд. техн. наук: 05.14.04 / А. М. Панкеев. – К., 1978. – 175 с.
2. Зябицкий А. Теоретические основы формирования волокон: пер. с англ. / А. Зябицкий. – М.: Химия, 1979. – 504 с.
3. Разработка теоретических основ процесса теплообмена синтетических нитей при формировании: отчет о НИР (заключительный) / Черниговский государственный технологический университет. – Чернигов, 1999. – 151с. – ОЦО № ГР 0197И019282; Инв. № 02004003232.

УДК 621.002:661.666

В.А. Скачков, канд. техн. наук

В.І. Іванов, ст. наук. співробітник

Т.М. Нестеренко, канд. техн. наук

Ю.В. Мосейко, канд. пед. наук

Запорізька державна інженерна академія, м. Запоріжжя, Україна

НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЕ УЩІЛЬНЕННЯ ПОРИСТОЇ СТРУКТУРИ ВУГЛЕЦЬ-ВУГЛЕЦЕВИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ У ПЛАСКОМУ РЕАКТОРІ

Запропоновано методику розрахунку процесу ущільнення пористої структури вуглець-вуглецевих композиційних матеріалів у робочому об'ємі плоского реактора. Методика передбачає розрахунок розподілу концентрації реакційного газу (пропану) щодо довжини реактора цього типу з урахуванням його доставляння до нагрітих поверхонь ущільнюваних вуглець-вуглецевих композиційних матеріалів, подальшої дифузії до їх пористої структури, а також розкладання реакційного газу з осадженням піrolітичного вуглецю на стінках реактора та у пористій структурі композиційних матеріалів.

Вступ. Вуглець-вуглецеві композиційні матеріали мають значні переваги перед більшістю матеріалів щодо питомої пружності та характеристик міцності, термо- і хемостійкості, а також характеризуються низькою питомою вагою. Проте поширення сфер застосування цих композиційних матеріалів значною мірою стримується їх високою ціною, головну частину якої складає вартість енергетичних витрат на їх виробництво. Найбільш тривалим технологічним циклом виготовлення зазначених матеріалів є ущільнення пористої структури карбонізованих вуглецевих композиційних матеріалів з газової фази, яке реалізують при температурі 1000...1100 °С. Так, зниження температури ущільнення пористої структури вуглецевих композиційних матеріалів до 600...700 °С під час використання зріджених газів, зокрема пропану, дозволяє знайти підхід до проблеми енергозбереження [1].

Аналіз досягнень. Питання щодо ущільнення пористої структури вуглець-вуглецевих композиційних матеріалів розглянуто у роботах [2-5]. Проте у роботах [2;4;5] не враховано реальну структуру пір вуглець-вуглецевих композиційних матеріалів та не виконано оцінку її впливу на процес ущільнення. У роботі [3] виконано спробу врахувати пористу структуру в процесі ущільнення вуглець-вуглецевих композиційних матеріалів, причому пористу структуру було представлено ефективною пористістю з характерним радіусом усередненої пори.

Постановка завдання. Завданням цих досліджень є розробка методики розрахунку процесу ущільнення пористих вуглець-вуглецевих композиційних матеріалів з урахуванням дифузії реакційного газу до реальної пористої структури цих матеріалів за умов ізотермічного нагрівання.

Основна частина досліджень. Відомо, що реальна пориста структура вуглець-вуглецевих композиційних матеріалів представляється порограмою з розподілом ефективного радіусу пір у межах від декількох нанометрів до декількох сотень мікрометрів.