

М. М. МАРТИРОСЯН, А. М. СИМОНЯН

К ВОПРОСУ ОБ ОПРЕССОВКЕ ТОНКОСТЕННЫХ ТРУБ ИЗ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

Как известно, прессование композиционных материалов при полимеризации приводит к улучшению их прочностных свойств. Непосредственное осуществление прессования обычными способами связано с необходимостью использования громоздкого оборудования, в связи с чем при получении оболочечных конструкций методом намотки целесообразным является применение метода прессования тонкостенных труб из композиционного материала, описанного в [1]. Этот метод предусматривает намотку композита на алюминиевую оправку, затем намотку на композит стальной ленты, что при повышении температуры, сопровождающей полимеризацию, приводит к прессовке композита в радиальном направлении, вследствие разницы коэффициентов линейного теплового расширения алюминия и стали. В целях возможности регулирования давления опрессовки, как отмечено в [1], поверх композита может быть намотана алюминиевая фольга, а затем на нее — стальная лента.

Из других способов опрессовки тонкостенных оболочек представляется уместным отметить метод, основанный на заключении оболочки между оправкой и канатом и создание теплового потока, соответствующего перепаду температуры по толщине пакета «оправка—оболочка—канат» с меньшей температурой со стороны каната, разработанный в [2].

В настоящей работе приведен расчет давлений опрессовки, осуществляемой методом [1], и выбора толщины оправки, слоя алюминиевой фольги и стальной ленты для обеспечения требуемого давления опрессовки.

1. *Определение напряжений при опрессовке способом [1] при отсутствии слоя алюминия под стальной лентой.* Рассмотрим трехслойную тонкостенную трубу (рис. 1), внутренний и наружный слои которого изготовлены из алюминия и стали, соответственно, а средний слой — из композита. В результате равномерного нагрева такой трубы запишем соотношение, выражающее тот факт, что сближение наружного и внутреннего слоев возможно лишь за счет деформации среднего слоя:

$$u_{r,c} = u_{r,a} + \mu_{c,s} r_x, \quad (1.1)$$

где u_r и ε_r — перемещение и деформация в радиальном направлении, индексы «а», «к» и «с» соответствуют внутреннему, среднему и наружному слоям. Полагая, что наружная и внутренняя трубы являются гомогенными и упругими и находясь в условиях плоского напряженного состояния ($\sigma_{z_a} = \sigma_{z_c} = 0$), запишем соотношения:

$$u_{r_c} = R \varepsilon_{\varphi_c}; \quad u_{r_a} = R \varepsilon_{\varphi_a}; \quad (1.2)$$

$$\varepsilon_{\varphi_c} = \frac{\sigma_{\varphi_c}}{E_c} + \alpha_c \Delta T, \quad \varepsilon_{\varphi_a} = \frac{\sigma_{\varphi_a}}{E_a} + \alpha_a \Delta T.$$

Подставляя (1.2) в (1.1), получим:

$$\frac{\sigma_{\varphi_c}}{E_c} + \alpha_c \Delta T = \frac{\sigma_{\varphi_a}}{E_a} + \alpha_a \Delta T + \frac{h_k}{R} \varepsilon_{r_k}. \quad (1.3)$$

Оценить деформативные характеристики композита, проявляющиеся при нагреве и в процессе полимеризации, чрезвычайно трудно. Учитывая это обстоятельство, целесообразным представляется упрощенно считать композит упругим слоем, сжатым в направлении r некоторым давлением q . В таком случае для ε_{r_k} получим выражение:

$$\varepsilon_{r_k} = -\frac{q}{E_r} (1 - \nu_{r_r} - \nu_{z_r}) + (\alpha_{r_k} + \alpha_{\varphi_k} + \alpha_{z_k}) \Delta T, \quad (1.4)$$

где E_r — модуль упругости слоя композита в радиальном направлении; ν_{r_r} и ν_{z_r} — коэффициенты Пуассона; α_{r_k} , α_{φ_k} , α_{z_k} — коэффициенты линейного теплового расширения композита в соответствующих направлениях.

Давление q , которым сжимается слой композита, определяет окружные напряжения σ_{φ_c} и σ_{φ_a} :

$$\sigma_{\varphi_c} = \frac{qR}{h_c}; \quad \sigma_{\varphi_a} = \frac{qR}{h_a}, \quad (1.5)$$

которые легко могут быть получены из условия равновесия элемента наружной или внутренней трубы. Подставляя (1.4) и (1.5) в (1.3), получим формулу для определения давления опрессовки q :

$$q = \frac{\left[(\alpha_{r_k} + \alpha_{\varphi_k} + \alpha_{z_k}) \frac{h_k}{R} + \alpha_a - \alpha_c \right] h_c \Delta T}{R \left(\frac{h_k}{h_c E_c} + \frac{h_k}{h_a E_a} + \frac{h_k^2}{R^2} \frac{1 - \nu_{r_r} - \nu_{z_r}}{E_r} \right)}. \quad (1.6)$$

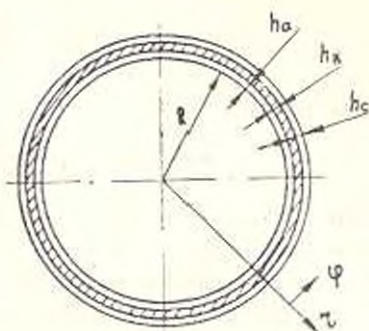


Рис. 1.

Учитывая, что указанный метод опрессовки обычно используется для несъема тонкостенных труб ($\frac{h_k}{R} \rightarrow 0$), то формула (1.6) может быть записана в виде:

$$q = \frac{(\alpha_s - \alpha_c) \Delta T}{R \left(\frac{1}{h_c E_c} + \frac{1}{h_s E_s} \right)} \quad (1.7)$$

т. е. вследствие малости $\left(\frac{h_k}{R}\right)^2$ деформационные свойства композита практически не влияют на величину давления опрессовки. К такому же выводу приходим, принимая вместо (1.4) соотношение, более точно описывающее деформационные свойства композита. Согласно формуле (1.7) давление опрессовки можно регулировать, изменяя лишь толщины ленты h_c или оправки h_s , т. к. ΔT неизменно и определяется режимом полимеризации. Изменение толщины оправки зачастую не представляется возможным из конструктивных соображений, а толщина внешнего стального слоя, составленного намоткой ленты, может быть равна лишь сумме толщин нескольких слоев ленты, т. е. иметь технологическое ограничение. Вследствие этого особое значение приобретает разновидность рассматриваемого способа, заключающаяся в намотке под стальной лентой слоя алюминиевой фольги и рассмотренная ниже.

2. *Определение напряжений при опрессовке способом [1] при наличии слоя алюминия под стальной лентой.* Рассмотрим теперь четырехслойную тонкостенную трубу (рис. 2), состоящую из слоев алюми-

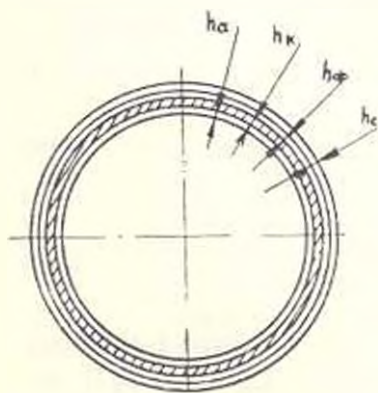


Рис. 2.

ния h_s , композита h_k , алюминиевой фольги h_ϕ и стальной ленты h_c . Принимая, что композит опрессовывается давлением q , для слоев фольги и стальной ленты получаем следующие условия равновесия и совместности деформации:

$$h_c \sigma_{rc} + h_\phi \sigma_{r\phi} = qR; \quad \varepsilon_{r\phi} = \varepsilon_{rc}. \quad (2.1)$$

Подставляя (1.2) и решая (2.1) относительно σ_{rc} , получим:

$$\sigma_{rc} = \frac{\frac{qR}{h_\phi E_s} + (\alpha_s - \alpha_c) \Delta T}{\frac{1}{E_c} + \frac{h_s}{E_s h_\phi}} \quad (2.2)$$

Переходя к рассмотрению пакета в целом, легко убеждаемся, что соотношения (1.1)—(1.4) остаются в силе и для рассматриваемого случая. Подставляя (2.2), (1.4) и очевидное

$$\sigma_{rc} = \frac{qR}{h_s} \quad (2.3)$$

в (1.3) и решая уравнение относительно q , получим:

$$q = \frac{\left[(z_s - z_c) \frac{h_c E_c}{h_\phi E_s + h_c E_c} + \frac{h_c}{R} (z_{r_s} + z_{r_c} + a_{r_s}) \right] h_c \Delta T}{R \left[\frac{h_c}{h_\phi E_s + h_c E_c} + \frac{h_s}{h_s E_s} + \left(\frac{h_s}{R} \right)^2 \frac{1 - \nu_{r_s} - \nu_{r_c}}{E_s} \right]}. \quad (2.4)$$

Для тонкостенных труб имеем: $\frac{h_c}{R} \rightarrow 0$, вследствие чего:

$$q = \frac{(z_s - z_c) \Delta T}{R \left(\frac{1}{h_c E_c} + \frac{1}{h_s E_s} + \frac{h_\phi}{h_s h_c E_c} \right)}. \quad (2.5)$$

Формула (2.5) позволяет осуществить расчет давления опрессовки при равномерном нагреве композита, намотанного на алюминиевую оправку и окаймленного слоями алюминиевой фольги и стальной ленты. С помощью подбора толщины слоя алюминиевой фольги можно регулировать давление опрессовки, но не превышая значения (1.7). Действительно, для достижения давления опрессовки, равного, например, некоторому значению q_0 , удовлетворяющему условию

$$q < \frac{(z_s - z_c) \Delta T}{R \left(\frac{1}{h_c E_c} + \frac{1}{h_s E_s} \right)},$$

согласно (2.5) достаточно принять толщину слоя фольги h_ϕ :

$$h_\phi = \frac{h_s h_c E_c (z_s - z_c) \Delta T}{q_0 R} - \frac{h_c E_c}{E_s} - h_s. \quad (2.6)$$

Таким образом, при изготовлении тонкостенной трубы из композиционного материала способом [1] возможна опрессовка изделия, при котором давление опрессовки можно регулировать изменением толщины слоя алюминиевой фольги, непосредственно наматываемого на композит, в зависимости от диаметра и толщины оболочки.

Մ. Մ. ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ, Ա. Մ. ՍԻՄՈՆՅԱՆ

ԿՈՄՊՈԶԻԶԻՈՆ, ՆՅՈՒԹԻՅ ՊԱՏՐԱՍՏՎԱԾ ԻԱՐԱԿԱՊԱՏ ԽՈՂՈՒԱԿՆԵՐԻ
ՄԱՄԼՈՐԱՆ ՀԱՐՑԻ ՄԱՍԻՆ

Ա Վ Փ Ո Փ Ո Վ

Դիտարկված է կոմպոզիցիոն նյութից պատրաստված բարակապատ խողովակի մամլման մեթոդը, որը իրականացվում է պոլիմերացման ընթացքում:

Սեթոդի էությունը կայանում է նրանում, որ խողովակի ստացման համար անհրաժեշտ կոմպոզիցիոն նյութի շերտի վրայից, որով պարուրված է ալյումինի միջնաձողը, որոշակի հաստությամբ փաթաթվում է պողպատե ժապավեն: Ջերմաստիճանի բարձրացման ժամանակ, որն անհրաժեշտ է խեղդի պոլիմերացման համար, ի հաշիվ ալյումինե միջնաձողի և պողպատե ժապավենի տարրեր ջերմային ընդարձակման, տեղի է ունենում կոմպոզիտի շերտի մամլումը: Տրված է մամլման ճնշման հաշվարկը և ինչպես նաև հետադռոված են այդ ճնշման կարգավորման հնարավորությունները:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. *Мартиросян М. М.* Получение прессованных тонкостенных труб из стеклопластиков.— Промышленность Армении, 1971, 10, с. 56—57.
2. *Исаков Ю. А., Филипенко А. А., Протасов В. Д.* Расчет контактных давлений при опрессовке канатом цилиндрической пластмассовой оболочки, подверженной действию нестационарного температурного поля.— Механика полимеров, 1977, № 2, с. 220—225.