

УДК 629.735.33.015.4

Влияние ползучести на напряженное состояние фторопластового рукава^{*}

В.Л. ПРИСЕКИН, В.А. БЕРНС, В.Н. ЧАПЛЫГИН, А.А. КАЛАШНИКОВ

Фторопластовые рукава, представляющие собой цилиндрическую фторопластовую трубку, покрытую провололочной оплеткой и установленную на концах рукава присоединительную арматуру, широко используются в бортовых системах самолетов. В процессе эксплуатации рукавов отмечены случаи потери герметичности вследствие возникновения сквозных трещин в стенке фторопластовой трубки. Исследования поврежденных рукавов показали, что разрушение трубки вызвано большими растягивающими напряжениями в окружном направлении. Исследованиям возможных причин возникновения таких напряжений посвящена настоящая работа.

Ключевые слова: фторопластовый рукав, потеря герметичности, напряженное состояние, ползучесть.

ВВЕДЕНИЕ

Фторопластовые рукава, предназначенные для гибкой связи трубопроводов и агрегатов, широко используются в различных системах самолетов. Конструкция рукава состоит из гибкой части и присоединительной арматуры (рис. 1). Гибкая часть рукава состоит из фторопластовой трубки и металлической оплетки. Металлическая оплетка из стальной проволоки плотно прилегает к фторопластовой трубке.

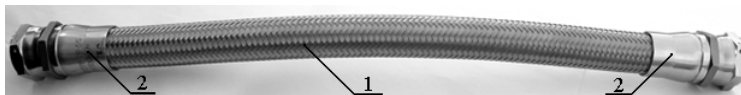


Рис. 1. Фторопластовый рукав:

1 – гибкая часть; 2 – присоединительная арматура

В процессе эксплуатации рукавов отмечены случаи потери герметичности, являющейся следствием возникновения сквозных трещин в стенке фторопластовой трубки (рис. 2.). Причем трещины ориентированы вдоль образующей трубки, а возникали они и после эксплуатации маслопровода в течение небольшого интервала времени. Исследования структуры материала трубки с трещиной позволили сделать заключение о возможности ее разрушения вследствие малоциклового усталости, вызванной большими растягивающими напряжениями в окружном направлении.

В связи с этим в работе проведено исследование напряженного и деформированного состояния рукава, вызванного давлением, температурными деформациями с учетом свойств ползучести материала трубки.

1. ВЫВОД УРАВНЕНИЙ РАВНОВЕСИЯ

Примем, что внутреннее давление только растягивает стенки трубки в окружном направлении. Продольными напряжениями пренебрегаем. Обозначим через Q давление взаимодействия, которое прижимает стенки трубки к оплетке и тем самым разгружает трубку. Будем считать, что стенки трубки находятся в условиях плоского напряженного состояния. Введем

^{*} Статья получена 11 декабря 2012 г.

модули упругости, коэффициенты Пуассона и коэффициенты линейного температурного расширения для фторопласта и стали $E_1, \nu_1, \alpha_1; E_2, \nu_2, \alpha_2$. Ниже приведена табл. 1 характеристик материалов рукава [1].

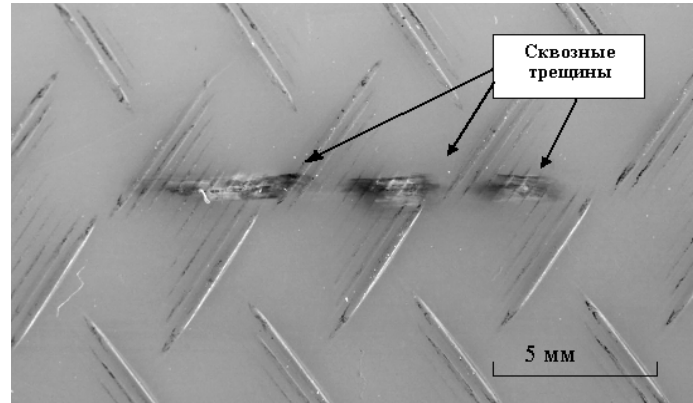


Рис. 2. Сквозные трещины в фторопластовой трубке

Таблица 1

Характеристики материалов рукава

Материал	E , Кгс/см ²	ν	σ_b , Кгс/см ²	α , 1/град
Сталь	$2.1 \cdot 10^6$	0.24	4500	$1.3 \cdot 10^{-5}$
Фторопласт	6800	0.22	100	$12.4 \cdot 10^{-5}$

Здесь σ_b – предел прочности. Введем также обозначения: q – внутренне давление в рукаве, T_1 и T_2 – температуры фторопластовой трубки и оплетки, T_0 – начальная температура рукава. Оплетку заменяем трубкой из ортотропного материала, толщина которой задается из условия сохранения жесткости на растяжение в окружном направлении.

Для вывода уравнений равновесия частей рукава вырежем кольца единичной длины. Пусть $k_1 = E_1 \delta_1 / r_1$ и $k_2 = E_2 \delta_2 / r_2$ – радиальные жесткости колец фторопластовой трубки и оплетки. Здесь r – внешний радиус трубки, δ_1 и δ_2 – толщина стенки трубки и диаметр проволоки оплетки, $r_1 = r - \delta_1 / 2$ – радиус срединной поверхности трубки, а $r_2 = r + \delta_2 / 2$ – оплетки. Примем так же, что $r_0 = r - \delta_1$ – внутренний радиус трубки, w_1 и w_2 – радиальные перемещения срединных поверхностей трубки и оплетки. Отметим, что при выполнении условий совместного деформирования $w_1 = w_2$.

Из принципа возможных перемещений следуют уравнения равновесия частей рукава:

$$k_1 w_1 = r_0 q - r Q + E_1 \delta_1 \alpha_1 \Delta T_1 + E_1 \delta_1 p; \quad k_2 w_2 = r Q + E_2 \delta_2 \alpha_2 \Delta T_2. \quad (1)$$

Здесь $\Delta T_1 = T_1 - T_0$, $\Delta T_2 = T_2 - T_0$, p – деформация ползучести.

Отметим, что если трубка и оплетка не связаны условием совместности деформирования, то взаимодействие отсутствует и $Q = 0$. Тогда имеем независимую систему уравнений равновесия, решение которой представим в виде

$$w_1 = \frac{1}{k_1} \{ r_0 q + E_1 \delta_1 \alpha_1 \Delta T_1 + E_1 \delta_1 p \}, \quad w_2 = \frac{1}{k_2} E_2 \delta_2 \alpha_2 \Delta T_2. \quad (2)$$

Перемещения срединных поверхностей определяют напряжения во фторопласте и оплетке:

$$\sigma_1 = E_1 \left(\frac{w_1}{r_1} - \alpha_1 \Delta T_1 - p \right), \quad \sigma_2 = E_2 \left(\frac{w_2}{r_2} - \alpha_2 \Delta T_2 \right). \quad (3)$$

Из уравнений (2) следует, что если $Q = 0$, то и $\sigma_2 = 0$.

При совместном деформировании трубки и оплетки $Q > 0$ и $w = w_1 = w_2$, поэтому решение уравнений равновесия (1) имеет вид

$$w = \frac{1}{k_1 + k_2} \{ r_0 q + E_1 \delta_1 \alpha_1 \Delta T_1 + E_1 \delta_1 p + E_2 \delta_2 \alpha_2 \Delta T_2 \}, \quad (4)$$

$$Q = \frac{k_1 k_2}{(k_1 + k_2) r} \left\{ \frac{r_0 q}{k_1} + r_1 \alpha_1 \Delta T_1 + r_1 p - r_2 \alpha_2 \Delta T_2 \right\}. \quad (5)$$

Теперь напряжения в элементах рукава вычисляются по формулам:

$$\sigma_1 = \frac{1}{\delta_1} (r_0 q - r Q), \quad \sigma_2 = \frac{r Q}{\delta_2}. \quad (6)$$

Изучим влияние давления, нагрева и деформации p на распределение напряжений в рукаве. Примем такие геометрические параметры: $r = 1.4$ см, $\delta_1 = 0.15$ см, $\delta_2 = 0.0628$ см, $r_0 = 1.25$ см, $r_1 = 1.325$ см, $r_2 = 1.4314$ см.

Для параметров нагрузки, указанных в табл. 2, выполнены расчеты напряжений в трубке и оплетке, сил взаимодействия Q , и перемещений w .

Следует отметить: если действует только давление $q = 5$ Кгс/см², то напряжения во фторопластовой трубке ничтожно малы $\sigma_1 = 0.273$ Кгс/см², а параметр давления трубки на оплетку $Q = 4.44$ Кгс/см². Для свободной трубы эти напряжения соответствуют действию очень малого давления $q_1 = 0.033$ Кгс/см². Расчет подтверждает эффективность применения стальной оплетки для снижения напряжений во фторопластовой трубке. Значения других параметров состояния приведены в первой строке табл. 2.

Повышение температуры оплетки $\Delta T_2 = 80$ °С (строка 2) при действии давления q приводит к увеличению ее диаметра, что способствует уменьшению давления взаимодействия Q и снижению напряжений в оплетке. Поэтому и увеличиваются напряжения в трубке.

Таблица 2

Параметры состояния

№ п/п	Нагрузка				Параметры состояния			
	q , Кгс/см ²	ΔT_1 , °С	ΔT_2 , °С	p	σ_1 , Кгс/см ²	σ_2 , Кгс/см ²	Q , Кгс/см ²	w , см
1	5	00	00	00	0.2731	77.61	4.435	$5.322 \cdot 10^{-3}$
2	5	00	80	00	7.908	63.30	3.617	$1.541 \cdot 10^{-3}$
3	5	80	80	00	-59.11	189.0	10.80	$1.627 \cdot 10^{-3}$
4	0	00	00	$5 \cdot 10^{-3}$	-33.78	63.33	3.619	$4.343 \cdot 10^{-3}$
5	0	00	00	$-5 \cdot 10^{-3}$	33.78	-63.33	-3.619	$-4.343 \cdot 10^{-3}$

В строке 3 приведены параметры состояния для нагрузок: $q = 5$ Кгс/см², $\Delta T_1 = 80$ °С, $\Delta T_2 = 80$ °С. Нагрев фторопластовой трубки существенно изменяет напряженное состояние: $\sigma_1 = -59.1$ Кгс/см², а $\sigma_2 = 189$ Кгс/см². Это объясняется исключительно большим

значением коэффициента линейного температурного расширения фторопласта (почти в 10 раз больше, чем у стали). Отметим также, что существенно увеличивается сила взаимодействия трубки и оплетки $Q = 10.8 \text{ Кгс/см}^2$.

Отметим, что влияние положительной деформации ползучести $p = 5 \cdot 10^{-3}$ аналогично повышению температуры фторопласта. Заданные значения деформации ползучести соответствуют увеличению размеров трубки, что вызывают растяжение оплетки и возникновению отрицательных напряжений во фторопласте. Отрицательные же значения $p = -5 \cdot 10^{-3}$ указывают на то, что размеры трубки стали меньше размеров оплетки. Поэтому при значении $Q < 0$ происходит растяжение трубки и сжатие оплетки. Однако оплетка не приварена к трубке, что приводит к расслоению трубки и оплетки. Тогда выполняется равенство $Q = 0$. В этом случае возникает напряженное состояние: $\sigma_1 = 0$, $\sigma_2 = 0$, $w_1 = -6.63 \cdot 10^{-3} \text{ см}$, $w_2 = 0$.

2. НЕУСТАНОВИВШАЯСЯ ПОЛЗУЧЕСТЬ ФТОРОПЛАСТА

В первом разделе было установлено, что повышение температуры рукава ($\Delta T = 80 \text{ }^\circ\text{C}$) вызывает во фторопласте большие сжимающие напряжения $\sigma_1 \approx -60 \text{ Кгс/см}^2$. Поэтому представляет интерес изучить влияние температуры и деформации ползучести фторопласта на напряженное состояние трубки и оплетки, и оценить силы взаимодействия этих деталей рукава. Примем, что давление и температура изменяются по некоторому периодическому закону f , изображенному на рис. 3. Каждый цикл отображает запуск системы, выход на стационарный режим, выключение и охлаждение системы до начальной температуры.

Параметры функции f задаются в виде координат: $(t_1, 0)$, $(t_2, 1)$, $(t_3, 1)$, $(t_4, 0)$. Для расчетов зададим два закона изменения давления и температуры:

$$\Delta T_i = T_i f_1(t), \quad q = q_0 f_2(t), \quad i = 1, 2.$$

Каждая функция определяется заданием четырех узловых точек, в которых временные параметры определяются технологией запуска и выключения системы, в конструкции которой присутствует фторопластовый рукав.

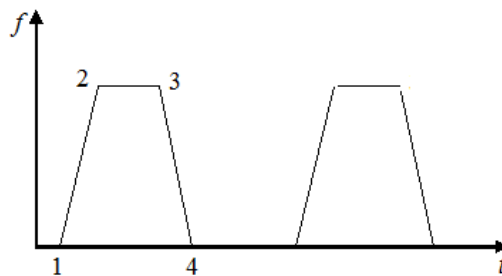


Рис. 3. Законы изменения давления и температуры

Свойства ползучести фторопласта заимствованы из [2] и приведены в табл. 3.

Таблица 3

Свойства ползучести фторопласта

$T, ^\circ\text{C}$	$\sigma, \text{ Кгс/см}^2$	$p, \% \text{ за } 24 \text{ ч.}$	$p, \% \text{ за } 96 \text{ ч.}$
20	-33	6.00	6.24
20	-21	3.05	3.10
10	+28	2.72	2.87
100	+28	5.58	5.90

Эти данные позволяют определить установившуюся ползучесть в диапазоне времени 24...96 часов. Однако в течение времени 0...24 часа имеет место неустановившаяся ползучесть. Известны лишь два параметра: в момент $t = 0$, $p = 0$, а за интервал времени 24 часа деформация ползучести p достигает значений, указанных в табл. 3. Для описания деформаций ползучести на сжатие предложим следующий закон изменения деформации в диапазоне времени от 0 до 96 часов:

$$p = A\{(1 - e^{-\lambda t}) + b t\} \operatorname{sh}(\kappa \sigma), \quad (7)$$

где σ – напряжение в трубке; k – константа; A , b , λ – параметры интерполяции.

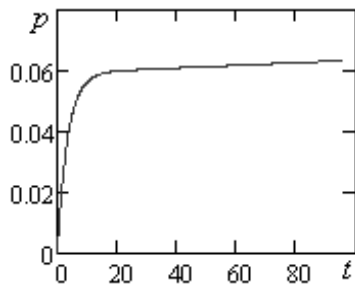


Рис. 4. Деформация ползучести

На рис. 4 показано развитие деформации ползучести во времени для напряжения $\sigma = -33 \text{ Кгс/см}^2$ и следующих значений параметров: $A = 0.02529$, $b = 7.3232 \cdot 10^{-4} \text{ час}^{-1}$, $\lambda = 0.28782 \text{ час}^{-1}$, $\kappa = 0.04808 \text{ 1/(Кгс/см}^2\text{)}$.

Для расчетов статически неопределимых конструкций удобно располагать законом изменения скорости ползучести. Дифференцируя (7) по параметру времени и полагая, что напряжение не зависит от этого параметра, получим

$$\frac{dp}{dt} = A\{\lambda e^{-\lambda t} + b\} \operatorname{sh}(\kappa \sigma). \quad (8)$$

Функции $f_1(t)$, $f_2(t)$ в расчетах на ползучесть изображены на рис. 5 и 6. Заданы следующие величины приращения температуры и давления: $T_1 = T_2 = 80 \text{ }^\circ\text{C}$, $q_0 = 5 \text{ Кгс/см}^2$.

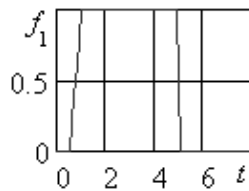


Рис. 5. Зависимость температуры от времени

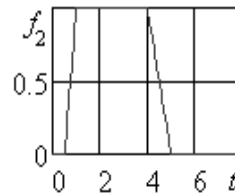


Рис. 6. Зависимость давления от времени

Результаты расчета влияния ползучести на деформированное состояние фторопластового рукава представлены на рис. 7–14 и рис. 7а–14а.

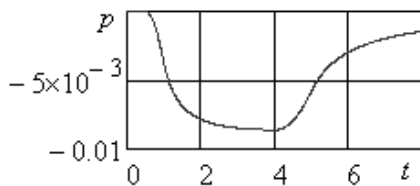


Рис. 7. Деформация ползучести

На рис. 7 представлена зависимость деформации ползучести от времени в часах. Начальная деформация равна нулю, а за время около четырех часов достигает минимального значения порядка $-8.6 \cdot 10^{-3}$. Затем деформация ползучести стремится к нулю.

На рис. 8 показана зависимость напряжения во фторопластовой трубке от времени. В районе первого часа напряжения достигают минимального значения порядка -34 Кгс/см^2 . Затем происходит их увеличение.

Эта часть графика $0 < t < 5$ отображает релаксацию напряжений во фторопласте в условиях сжатия.

Рис. 9 иллюстрирует изменение напряжений в оплетке: максимальное значение напряжения $\sigma_2 = 142 \text{ Кгс/см}^2$, а минимальное – $\sigma_2 = -66 \text{ Кгс/см}^2$.

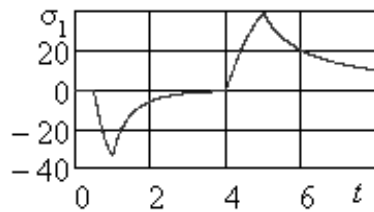


Рис. 8. Напряжения в трубке

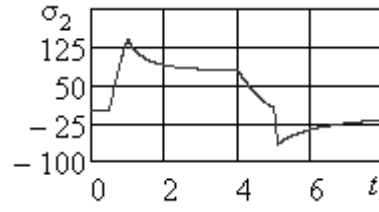


Рис. 9. Напряжения в оплетке

На рис. 10 показано изменение давления трубки на оплетку в процессе ползучести. Отметим, что значение Q для интервала времени $t > 5$ отрицательное. Но это не может быть реализовано, так как происходит расслоение рукава. Этот процесс необходимо учитывать при исследовании напряженного состояния.

Приведем уравнения процесса деформирования рукава в условиях ползучести для положительных и отрицательных значений Q .

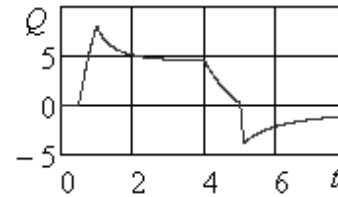


Рис. 10. Давление трубки на оплетку

А. СЛУЧАЙ $Q > 0$

В этом случае происходит совместное деформирование фторопластовой трубки и оплетки и выполняются уравнения (1), (4), (5), (6) и (8).

Процесс ползучести удовлетворяет теории течения:

$$\frac{dp}{dt} = A\{\lambda e^{-\lambda t} + b\} \text{sh}(\kappa \sigma_1).$$

Здесь следует задать начальные условия. При первом запуске системы с фторопластовым рукавом такое условие зададим в виде: в момент времени $t = 0$ деформация ползучести равна нулю. Для изучения следующих запусков системы начальные значения p задаются по результатам решения предыдущего цикла нагрузки.

В. СЛУЧАЙ $Q < 0$

Это условие соответствует расслоению трубки и оплетки. Поэтому эти части рукава деформируются независимо друг от друга. Полагая, что $Q = 0$ имеем такую систему уравнений (2), (3), (8).

Вычисление напряжений из уравнения (3) приводит к результату:

$$\sigma_1 = \frac{r_0 q}{\delta_1}, \quad \sigma_2 = 0.$$

Уравнения процесса ползучести имеют вид

$$\frac{dp}{dt} = A\{\lambda e^{-\lambda t} + b\} \text{sh}(\kappa \sigma_1).$$

Для решения дифференциальных уравнений необходимо задать начальную деформацию ползучести.

РЕШЕНИЕ УРАВНЕНИЙ РАВНОВЕСИЯ С УЧЕТОМ РАССЛОЕНИЯ ТРУБКИ И ОПЛЕТКИ

На рис. 7а–10а приведены результаты расчета деформирования рукава с учетом его расслоения в момент времени $t_p = 5.0$ час. Для облегчения анализа принято, что параметры на рис. 7а–10а соответствуют данным на рис. 7–10.

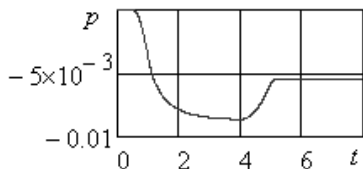


Рис. 7а. Деформация ползучести

Рис. 7а представляет изменение деформации ползучести во времени с учетом расслоения рукава в момент $t \geq 5.0$. Отметим, что после расслоения деформация ползучести остается неизменной, так как $Q = 0$.

На рис. 8а дана зависимость окружного напряжения в трубке от времени. Первая часть рисунка совпадает с данными рис. 8, но в интервале времени $4 \leq t \leq 5$ имеет место пик напряжения во фторопластовой трубке, достигающий значения $\sigma_1 = 39$ Кгс/см². Видимо, этот результат позволяет объяснить малоцикловую усталость фторопластового рукава. Рис. 9а показывает изменение напряжений в оплетке.

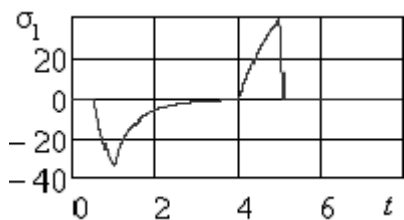


Рис. 8а. Напряжения в трубке

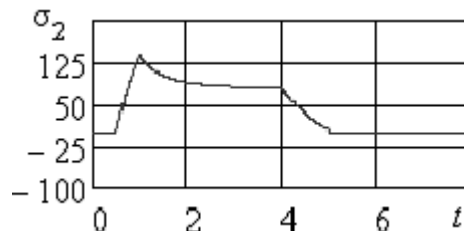


Рис. 9а. Напряжения в оплетке

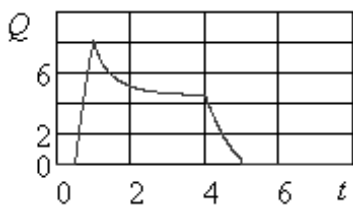


Рис. 10а. Давление трубки на оплетку

Рис. 10а иллюстрирует неотрицательные значения сил взаимодействия Q оплетки и трубки и совпадение данных с рис. 10.

На рис. 7–10 показано изменение напряженного состояния рукава для 1-го цикла нагрузки в условиях установившейся ползучести фторопласта. Основной вывод, который можно сделать по этим результатам, это появление пиков растягивающих напряжений в окружном направлении.

Конечно, возникает вопрос, что будет с напряжениями во втором цикле нагрузок? На рис. 11–14 представлены данные расчета напряженного состояния для второго цикла нагрузок на рукав, который происходит, по существу, в условиях установившейся ползучести фторопласта. Отметим, что второй цикл нагрузки $\tilde{f}_j(t)$ для интервала $8 \leq t \leq 16$ формируется по законам первого цикла: $\tilde{f}_j(t) = f_j(t-8)$.

На рис. 11 показана зависимость деформации ползучести от времени. Отметим, что начальная деформация, в отличие от рис. 7, не равна нулю и изменяется незначительно.

На рис. 12 представлен закон изменения напряжений в трубке, который повторяет зависимость давления от времени. Наибольшее значение напряжений равно $\sigma_1 = +42$ Кгс/см². На рис. 13 показано изменения напряжения в оплетке во времени. Эта величина изменяет два раза знак в диапазоне времени $8 \leq t \leq 16$.

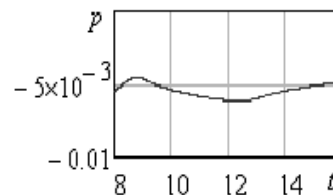


Рис. 11. Деформация ползучести

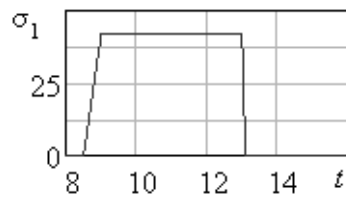


Рис. 12. Напряжения в трубке

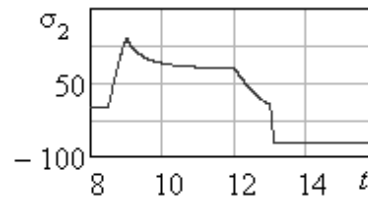


Рис. 13. Напряжения в оплетке

Рис. 14 показывает, что сила взаимодействия оплетки и трубки Q имеет две зоны отрицательных значений $0 \div t_1$ и $t_2 \div 16$, что приводит к необходимости учета расслоения трубопровода в моменты времени $t = t_1$, $t = t_2$.

По результатам анализа параметра Q были вычислены моменты времени t_1 , t_2 , определяющие диапазоны отрицательных значений Q . Ниже, на рис. 11а–14а приведены результаты расчетов параметров состояния в соответствии с уравнениями разделов А. и В. Кроме того, уточнены моменты времени t_1 , t_2 .

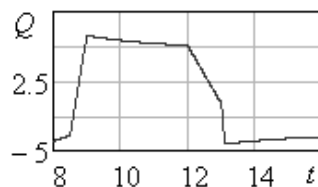


Рис. 14. Взаимодействие оплетки и трубки

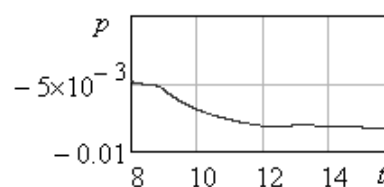


Рис. 11а. Деформации ползучести во втором цикле нагрузок

На рис. 11а дано изменение деформации ползучести во втором цикле действия нагрузок. Отметим, что остаточная деформация достигает значений $-8.3 \cdot 10^{-3}$.

На рис. 12а показана зависимость напряжений в трубке от времени. Отметим минимальное значение $\sigma_1 = -22$ Кгс/см², а максимальное $\sigma_1 = 42$ Кгс/см². Это указывает на сохранение растягивающих напряжений в трубе и на стадии установившейся ползучести.

Рис. 13а. Напряжения в оплетке неотрицательные и изменяются в диапазоне от 0 до 125.

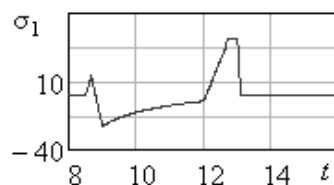


Рис. 12а. Напряжения в трубке

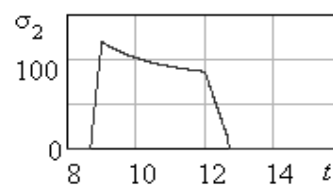


Рис. 13а. Напряжения в оплетке

На рис. 14а показано, что усилия взаимодействия оплетки и трубки неотрицательные. Наибольшие значения Q равны 6.9 Кгс/см².

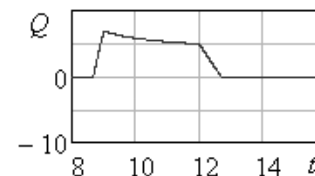


Рис. 14а. Взаимодействие оплетки и трубки

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Распределение напряжений между трубкой и оплеткой фторопластового рукава и их изменение во времени зависит от параметров циклов нагружения. Для принятых здесь интервалов времени максимальные значения растягивающих напряжений в окружном направлении фторопластовой трубки сохраняются и в циклах установившейся ползучести, что указывает на возможность малоциклового усталости рукава.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] ГОСТ 100007-80 Фторопласт-4
- [2] «Ползучесть фторопласта-4». ([ftoroplast.com.ru](http://ftoroplast.com.ru/reference/svoistva.jaw))reference/svoistva.jaw)

REFERENCES

- [1] GOST 100007-80 Ftoroplast-4
- [2] «Polzuchest' ftoroplasta-4». ([ftoroplast.com.ru](http://ftoroplast.com.ru/reference/svoistva.jaw))reference/svoistva.jaw)

Присекин Виктор Леонтьевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры прочности летательных аппаратов Новосибирского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – прочность летательных аппаратов. Имеет больше 100 публикаций, в том числе 1 монография, 10 учебных пособий. E-mail: priseking@gmail.com

Бернс Владимир Андреевич, доктор технических наук, доцент, начальник отдела ФГУП «СибНИА им. С.А. Чаплыгина». Основное направление научных исследований – прочность летательных аппаратов. Имеет больше 80 публикаций, в том числе 2 монографии, 5 учебных пособий. E-mail: v.berns@yandex.ru

Чаплыгин Владимир Никифорович, начальник отдела ФГУП «СибНИА им. С.А. Чаплыгина». Основное направление научных исследований – прочность летательных аппаратов. Имеет больше 50 публикаций.

Калашников Александр Александрович, директор дирекции перспективных программ филиала ОАО «Корпорация «Сухой» «Новосибирский авиационный завод им. В.П. Чкалова». Основное направление научных исследований – прочность летательных аппаратов. E-mail: kalashnikov.ss@yandex.ru

V.L. Prisekin, V.A. Berns, V.N. Chaplygin, A.A. Kalashnikov

Influence of creep on a fluoroplastic hose stress state

Fluoroplastic hoses represent parallel wire-reinforced PTFE tubing and fixed on the tube ends fittings. They are widely used in on-board aircraft systems. While in hoses operation the loss of tightness cases due to a throughwall crack initiation in the wall of PTFE tubing were noted. Research of the damaged hoses showed that the inner surface of the tube has wear scars of fluoroplastic in zones of its contact with the wire braid. Present paper is devoted to the design analysis of significant contact stresses which are the possible reason of the wear.

The derivation of an equilibrium equation of parts of a hose is presented in paper at influence of internal pressure and temperature taking into account creep of fluoroplastic. The assumption that internal pressure only stretches tube walls in the district direction is made, and longitudinal tension is absent. Was considered that tube walls are in a plane stressed state.

The numerical researches show that heating of hose in fluoroplastic give a compressive stress. So influence of temperature and fluoroplastic creep deformation to a tube and braid state of stress is searched, and assessments of exchange forces of these hose details are made. It is shown that stress distribution between a tube and a braid of a fluoroplastic hose and their change in time depends on parameters of loading cycles. It is established that maxima of the tensile stress in the peripheral direction of the fluoroplastic tube is remain in cycles of the steady-state creep that indicate to ability of low-cyclic fatigue of a hose.

Key words: fluoroplastic hose, loss of tightness, internal pressure, heating, equilibrium equation, stressed state, transient creep, steady-state creep, tube and braid interaction, circumferential stress, cyclic loading, low-cyclic fatigue.