

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МОТАЛЬНЫХ ПАКОВОК СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ РАЗВЕРТОК

С.Д.НИКОЛАЕВ, М.И.ПАНИН, И.Н.ПАНИН

(Московский государственный текстильный университет им. А.Н.Косыгина)

E-mail: nsd@msta.ac.ru

В статье исследованы прочностные характеристики нитей и разверток мотальных паковок, используемых для предохранения композиционных материалов, которые представляют собой тела вращения.

The article studies the strength characteristics of threads and sweeping of reeling packages, used for protecting composite materials which correspond rotation bodies.

Ключевые слова: мотальные паковки, угол сдвига витков, давление, осевая нагрузка, развертки, прочность.

Ряд композиционных материалов, применяемых в приборостроении, в авиа- и автомобилестроении, могут формироваться на базе мотальных паковок специального назначения, так как являются телами вращения и намотка нитей на них не предназначена для разматывания. Данные материалы – оплетки оправок, чередующиеся многослойные структуры из намоток и тканей – относятся к анизотропным материалам. Их конструкции предназначены чаще всего для преодоления внешних силовых воздействий и придания изделиям дополнительной прочности.

К таким композитным материалам также относятся многослойные неоднородные по структуре резинотекстильные изделия (оплетки рукавных шлангов). При расчете

их прочности необходимо учитывать направление внешних усилий, прилагаемых к изделиям и непосредственно к нитям, составляющим оплетку (намотку) или армирующий слой, на которые приходится основное приложение внешней нагрузки.

Качественные показатели таких изделий и их прочностные характеристики имеют важное значение, но ввиду сложности конструкции по структуре и форме они трудно поддаются расчету. Поэтому исследование способов упрощения расчетов композитов, образованных намоткой, является актуальной задачей, решить которую можно с использованием разверток намотки мотальных паковок.

В работе [1] отмечается, что в напорных рукавах с тканевыми прокладками,

расположенными под углом 45° к их оси, распределение внутреннего давления будет более равномерным, и это обусловлено смещением нитей каркаса до момента совпадения с направлением внутренних сил в каркасе, вызываемых воздействием потока жидкости. В работе также отмечается, что при проектировании композиционных материалов можно заранее установить наиболее рациональное направление расположения нитей каркаса, соответствующее его равновесному (устойчивому к внешним воздействиям) состоянию, однако методики расчета оптимального угла скрещивания витков не приводится, и задача получения оптимальной структуры армирующих нитей не решена.

Действительно, взаимное расположение нитей в структуре одного объемного слоя намотки (при движении нитераскладчика слева направо и справа налево) определяется углом скрещивания витков β , а при многослойной структуре – взаимным расположением нитей в смежных слоях с учетом изменения (уменьшения его при увеличении диаметра намотки) угла скрещивания витков β и перераспределения давления между различными слоями. При этом необходимо принимать во внимание то обстоятельство, что каждый последующий слой композиционного материала будет воспринимать меньшую нагрузку (направляемую на него от внутреннего или внешнего воздействия), по сравнению с предыдущим.

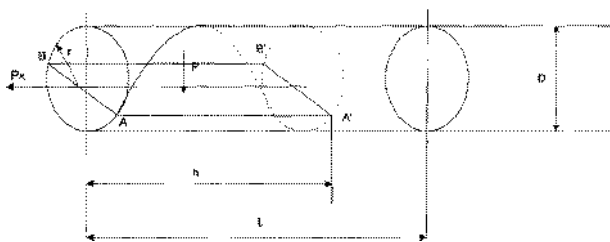


Рис. 1

Так, для определения сопротивления разрыву под воздействием внутреннего гидравлического давления P , бар, в напорных многослойных рукавах, сформированных из резиновых и пластиковых сло-

ев армированных намоткой (оплеткой), рассмотрим элемент рукава (рис. 1) и развертку намотки (оплетки) элемента на отрезке одного шага намотки h (рис. 2).

Давление P , приходящееся на площадь прямоугольника $AA'B'B'$, которая является проекцией двух полуцилиндров на горизонтальную плоскость, равно:

$$P = 2hpr, \quad (1)$$

где p – внутреннее гидравлическое давление, бар; r – радиус намотки оплетки.

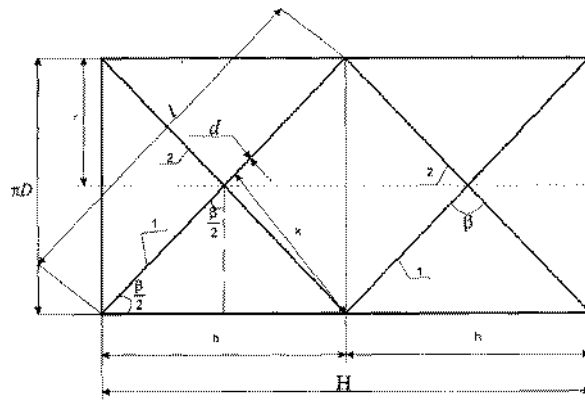


Рис. 2

Давление P вызывает тангенциальную и осевую нагрузку P_y , бар, и P_x , бар, по всей длине рукава, поэтому в общем случае можно записать:

$$P_y = \frac{2L Pr}{2L} = Pr. \quad (2)$$

Осевая нагрузка на стенки рукава (намотки) радиуса r составляет:

$$P_\phi = \frac{P\pi r^2}{2\pi r} = 0,5 Pr. \quad (3)$$

Из формул (2) и (3) видно, что осевая нагрузка, приходящаяся на элемент рукава, вдвое меньше тангенциальной, однако следует отметить, что такое распределение нагрузок характерно только для тонкостенных изотропных материалов (оборочек), находящихся под воздействием внутреннего потока жидкости или газа. Для

многослойных, неоднородных по структуре и сырьевому составу композитов, с использованием текстильных материалов, такое соотношение осевой и радиальной нагрузок соблюдается не всегда. Так, при расчете прочности анизотропных материалов (армирующих намоток, оплеток) следует учитывать направление усилий по отношению к составляющим их элементам (расположению нитей в структуре намотки и углу скрещивания витков β).

При формировании армирующих оплеток можно заранее установить наиболее рациональное расположение нитей в структуре паковки, при котором разрушающие воздействия на намотку со стороны внешних прилагаемых усилий будут минимальными (намотка будет воспринимать основную нагрузку, приходящуюся на композит оплетки (намотка формируется двумя слоями нитей 1 и 2), цилиндрического рукава диаметром D (рис.2)).

Шаг намотки одного витка определяется из соотношения окружной v_0 скорости вращения паковки (рукава) при формировании оплетки и переносной v_n скорости раскладки нити вдоль обращаемой паковки (рукава).

Угол наклона витков нитей к оси паковки также можно задавать соотношением скоростей v_n и v_0 .

Так, известно[2, с. 12], что

$$\operatorname{tg} \frac{\beta}{2} = \frac{v_n}{v_0} = \frac{hn_{\text{в}}}{\pi D n_{\text{в}}} = \frac{h}{2\pi r}, \quad (4)$$

где h – шаг намотки; r – радиус намотки паковки; $n_{\text{в}}$ – частота вращения паковки (каркаса рукава); ℓ – длина одного витка оплетки.

Из рис. 2 видно, что в одном слое намотки h может укладываться несколько нитей (или групп нитей-слоев) до полного заполнения отрезка χ . Очевидно, что при максимальном заполнении этого расстояния на паковке (в оплетке) будет формироваться сомкнутая намотка (намотка нитей или лент без промежутков – такая намотка используется при оплетке трубопроводов изоляционными лентами).

Размер отрезка χ можно определить по формуле:

$$\chi = \pi D \cos \frac{\beta}{2}, \quad (5)$$

а шаг намотки h равен:

$$h = \frac{\pi D}{\operatorname{tg} \frac{\beta}{2}}. \quad (6)$$

Максимальное заполнение оплетки нитями диаметра d будет наблюдаться при условии:

$$m = \frac{\chi}{d} = \frac{\pi D \cos \frac{\beta}{2}}{d}. \quad (7)$$

При сомкнутой структуре намотки и наличии двух слоев нитей в оплетке рукава на развертке вдоль его образующей максимально может приходиться $2m \sin \frac{\beta}{2}$ элементов нитей, а в направлении окружности – $2m \cos \frac{\beta}{2}$ элементов.

Если обозначить через P_1 нагрузку, приходящуюся на один элемент оплетки армирующего каркаса, то нагрузка, приходящаяся на все нити в развертке, в направлении образующей будет равна:

$$P_y = 2P_1 m \sin^2 \frac{\beta}{2}. \quad (8)$$

Нагрузка, приходящаяся на все нити в направлении оси армирующего каркаса (оплетки):

$$P_x = 2P_1 m \cos^2 \frac{\beta}{2}. \quad (9)$$

Из рис. 2 видно, что отношение:

$$\frac{P_y}{P_x} = \operatorname{tg}^2 \frac{\beta}{2}. \quad (10)$$

Учитывая, как показано ранее что нагрузка, приходящаяся на армирующую оп-

летку рукава в радиальном направлении, вдвое выше, чем в направлении оси, полагаем, что можно определить значение угла β (угла скрещивания витков намотки), при котором деформирующее усилие P_1 , приходящееся на один элемент намотки каркаса (на одну нить), является равнодействующей от осевой и радиальной нагрузок.

Очевидно, что в этом случае:

$$\operatorname{tg} \frac{\beta}{2} = \sqrt{2} = 1,414,$$

или

$$\frac{\beta}{2} = 54^\circ 44'; \beta \approx 109^\circ.$$

Такое значение угла скрещивания витков β можно обеспечить при формировании оплеток за счет подбора осевой v_g и переносной v_n скоростей раскладки нитей на каркасе, то есть за счет настройки прецизионного мотального механизма (механизма с раздельным действием намотки и раскладки нити).

Суммарная нагрузка, приходящаяся на нити одного армирующего слоя в оплетке, при максимальном заполнении его нитями (при сомкнутой намотке) m составит:

$$P_c = \frac{P_1 m}{2}. \quad (11)$$

Суммарная величина разрывных усилий, действующих на нити одного ручья оплетки на шаге h , под воздействием внутреннего давления P_c в момент его разрыва составляет:

$$P_c = \frac{P_1 \pi D^2}{8} \sqrt{4 \operatorname{ctg}^2 \frac{\beta}{2} + 1} = \frac{P_1 \sqrt{3} D^2}{8}. \quad (12)$$

Приравнивая выражения (11) и (12) и решая относительно P_1 , определим значение разрывной нагрузки одиночной нити, обеспечивающей прочность оплетки рукава до разрыва.

С учетом требуемого запаса прочности каркаса можно рассчитать количество нитей в оплетке в зависимости от величины внутреннего давления P (внешней нагрузки, прикладываемой к композиту). Если максимальное число нитей в одном слое оплетки m , формируемой при сомкнутой структуре намотки (оплетки), недостаточно для сопротивления внешнему воздействию, то число слоев оплетки можно увеличить, однако при этом следует уже рассматривать распределение нагрузки между смежными слоями намотки.

Методика расчета давления в смежных слоях намотки приведена в [2, с.32], но без учета величины угла скрещивания витков β , то есть без учета структуры намотки и взаимного расположения витков в различных слоях намотки нити. Применяя различные структуры намотки (сомкнутые, замкнутые, спиралевидные) в качестве армирующих слоев, можно создавать новые виды композитов с заданными свойствами (прочность, пористость, проницаемость) при использовании нитей различного сырьевого состава, и линейной плотности.

Следует также учитывать, что при многослойной оплетке (намотке композитов) жесткость рукавов на изгиб увеличивается.

В Ы В О Д Ы

1. Для предохранения композиционных материалов, представляющих собой тела вращения, от внешних воздействий, часто используются оплетки (намотки) одно- и многослойной структуры.

2. Прочностные характеристики оплеток могут быть обеспечены как за счет прочностных свойств нитей, применяемых в оплетке, так и за счет структуры их намотки на каркас, а также расчета оптимального угла скрещивания витков β .

3. Использование разверток намоток позволяет не только изучить структуру паковок, но и определять их прочностные характеристики по геометрическим параметрам расположения нитей.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ленетов В.А.* Резиновые технические изделия. – М.: Химия, 1965.

2. *Гордеев В.А., Волков П.В.* Ткачество: Учебник для вузов. – М.: Легкая промышленность, 1984.

Рекомендована кафедрой ткачества. Поступила 14.07.10.
