Изв. АН АрмССР (сер. ТН), т. XL, № 5, 1987

М. М. МАРТИРОСЯН

ВЕЛИЧИНА НАТЯГА ПРИ НАМОТКЕ И ПРОЧНОСТЬ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ (*ПКМ*)

Натяг ленты при намотке конструкций из ПКМ широко фигурирует как фактор технологического характера, влияющий на механические свойства готового изделия. В работах [1—3] показано, что натяг ленты существенно влияет на возникновение и величину технологических напряжений, которые, в свою очередь, снижают прочностные характеристики материала. В работе [4] считается, что натяг вообще не влияет на механические свойства ПКМ.

Цель настоящей работы — уточнить действительную картину связи между величиной натяга при намотке и прочностными свойствами изделий из ПКМ. Были изготовлены образцы по двум схемам намотки: а) только кольцевой и б) продольно-спиральной. По первой схеме на дюралевой оправке диаметром 150 *мм* наматывались кольца из однонаправленной углеленты шириной 15 *мм* и толщиной 0,12 *мм*, с различными натягами. Толщина намотки составляла 10 слоев. Натяг ленты создавался и поддерживался постоянным натяжным устройством электромеханического действия, обеспечивающего отклонение от заданной величины натяга не больше 2%.

Таблица 1

Натяг ленты, *Н*	$\sigma_в$, *МПа*	Кол-во образцов	Коэф. вариации, %
50	1051	7	6,4
100	1082	7	5,2
150	1126	7	13,2
200	1065	7	5,7

В табл. 1 приведены результаты экспериментов, которые показывают, что в исследованном интервале изменение натяга практически не влияет на прочность колец из углепластика. Затем по первой же схеме были изготовлены кольца из стеклопластика однонаправленной структуры. Готовые кольца имели ширину 15 *мм* и толщину 3,5 *мм*. Натяг при намотке поддерживался постоянным и составлял 200, 300 и 400 *Н*. Из данных табл. 2 видно, что при кольцевой намотке однонаправленной стеклоленты величина натяга также не влияет на прочность готового изделия.

Таблица 2

Натяг ленты, *Н*	Среднее значение, $\sigma_в$, *МПа*	Предельные значения, $\sigma_в$, *МПа*	Кол-во образцов	Коэффициент вариации, %
200	763	693—851	6	7,9
300	773	729—880	5	7,9
400	778	677—888	5	10,7

По второй схеме опыты проводились на стеклопластиковых трубчатых образцах толщиной стенки 15 *мм* с продольноспиральной намоткой с соотношением продольных и кольцевых слоев 1:1.

Таблица 3

Натяг ленты, *Н*	100	300	500
$\sigma_в$, *МПа*	182	291,5	263

В табл. 3 приведены результаты испытания образцов на осевое сжатие, где наблюдается повышение прочности при натяге 30 *Н*.

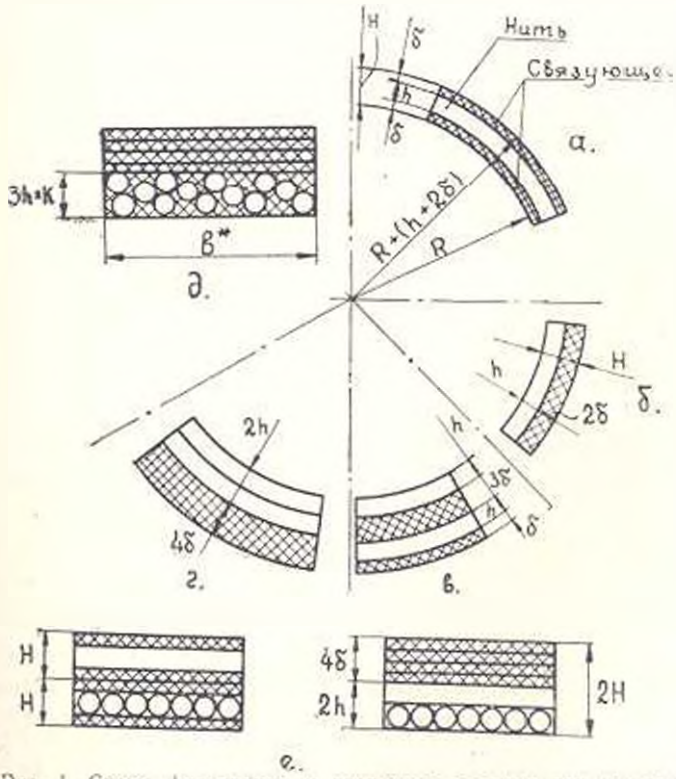

Рис. 1. Схема фильтрации и внедрения волокон при намотке

По результатам проведенных экспериментов получены два противоположных результата: очевидно, для того, чтобы натяг повлиял на конечный результат, он должен реально существовать до момента полного отверждения композита. Примем, что пропитанная и высушенная лента в момент намотки имеет структуру, схема которой приведена на рис. *а*. От натяга при намоте в нитях возникают напряжения, которые в дальнейшем будут фигурировать вместо натяга.

Учитывая, что податливость ленты намного выше податливости оправки, напряжения в нитях через натяг ленты можно выразить

$$\sigma_0 = \frac{P}{S} = \frac{4P}{\pi h^2 k}, \qquad (1)$$

где h толщина нити, k — количество нитей в ленте.

Рассмотрим процесс изготовления колец методом «сухой» намотки, когда все нити в ленте при намотке ложатся друг на друга параллельными слоями. Чтобы оценить напряжения в нитях, предполагаем, что намотанные с натягом P нити фильтруют через себя связующее, находящееся под лентой. В холодном состоянии связующего этот процесс будет иметь место, если под воздействием напряжений, возникших от данного натяга, нити преодолеют вязкое сопротивление связующего и внедрятся в него. В процессе нагрева системы «оправка-композит» на величину $\Delta T = T_п - T_0$, где $T_п$ — температура поликонденсации композита, $T_н$ — температура композита при намотке, в результате термического расширения оправки и нитей и их различных коэффициентов линейного расширения напряжения в нитях увеличиваются еще на

$$\sigma_1 = E(\alpha_{оп} - \alpha_н)\Delta T, \qquad (2)$$

где E — модуль упругости нитей; $\alpha_{оп}$ — коэффициент термического расширения (КТР) оправки; $\alpha_н$ — КТР нитей.

С повышением температуры системы «оправка-композит» и в результате падения вязкости связующего, под действием напряжений

$$\sigma_0 + \sigma_1 = \frac{4P}{\pi h^2 k} + (\alpha_{оп} - \alpha_н)\Delta TE \qquad (3)$$

происходит интенсивное внедрение нитей в связующее и их движение в сторону оправки. В некоторых случаях, из-за большого натяга может произойти также и внедрение волокон одного слоя в другой (рис. *б, г*). Такое движение нитей будет продолжаться до тех пор, пока они либо попадут на слои, уже лежащие на оправке, либо в них, в результате уменьшения диаметра намотки и укорачивания приращения нитей, напряжения уменьшается до нуля. Слой нитей с номером n во время фильтрации может переместиться в сторону оправки на суммарную величину всех прослоек связующего, находящихся между этим слоем и оправкой, т. е. на величину

$$\delta(2n - 1). \qquad (4)$$

Учитывая, что n-ый слой был намотан на окружность радиусом

$$R + (n - 1)(h + 2\delta), \tag{5}$$

а затем в процессе фильтрации радиус уменьшился на $\delta(2n-1)$, напряжение в нитях после фильтрации будет равно

$$\sigma(n) = \frac{4P}{\pi h^2 k} + (\alpha_{\text{ш}} - \alpha_{\text{н}})(T_{\text{н}} - T_0)E -$$

$$- \frac{\delta(2n - 1)E}{R + (n - 1)(2\delta + h) + \delta}. \tag{6}$$

Принимая левую часть формулы (6) меньшей или равной нулю, получаем номера слоев, в которых отсутствует напряжение:

$$n \geqslant \frac{(R - h)(\sigma_0 - \sigma_1) + \delta E}{2\delta E - h(\sigma_0 + \sigma_1)}. \tag{7}$$

В принятых моделях поведения композита при намотке и термообработке отсутствуют два важных момента: а) размотка ленты в процессе нагрева под воздействием внутренних напряжений, возникших при силовой намотке и разогреве, и б) внедрение волокон или нитей одного слоя в другой в процессе движения слоев.

Все приведенные рассуждения показывают, что натяг ленты, каким бы он не был большим, должен релаксировать в процессе разогрева системы «оправка-композит», при этом полностью или почти прекратится воздействие натяга и, следовательно, его влияние на свойства готового изделия. В случае перекрещивания нитей внедрению волокон одних слоев в другой будут препятствовать нити, уложенные в продольном направлении (рис. *б*), а это, в свою очередь, уменьшит процесс релаксации напряжений.

Таким образом, проведенное исследование дает основание сделать вывод, что связь между величиной натяга ленты при намотке и прочностью готового изделия определяется структурой намотки. При строго кольцевой намотке прочность готового изделия не зависит от величины натяга, а в случае перекрещивания нитей в процессе намотки прочность изделия будет связана с величиной натяга.

СКТБ ин-та мех. АН АрмССР

20. III. 1985

Մ. Մ. ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ

ԶԳՎԱԾՔԻ ՄԵՍՈՒԹՅՈՒՆԸ ՓԱԹԱԹՄԱՆ ԺԱՄԱՆԱԿ ԵՎ ՊՈԼԻՄԵՐԱՅԻՆ ԿՈՄՊՈԶԻՑԻՈՆ ՆՅՈՒԹԻՑ ԿԱԽՈՒՑՎԱԾՔԻ ԱՄՐՈՒԹՅՈՒՆԸ

Ամփոփում

Բերված են պոլիմերային կոմպոզիցիոն նյութից պատրաստված կառուցվածքի ամրության վրա փաթաթման ժամանակ ծալվածքի մեծության ազդեցության փորձարարական հետազոտության արդյունքները։

Ցույց է տրված, որ միաուղղված ժապավենի խիստ օղակաձև փաթաթման ժամանակ ձգվածքի մեծությունը չի ազդում ստացված օղակի ամրության վրա։ Մյուս կողմից, երբ փաթաթման ժամանակ տեղի է ունենում թելերի խաչաձևում, ապա պատրաստի իրի ամրությունը դառնում է կախյալ փաթաթման ձգվածքից։

ЛИТЕРАТУРА

1. *Таркопольский Ю. М., Портнов Г. Г.* Изменение усилия натяжения при намотке изделий из стеклопластиков // Мех. полимеров.— 1966.— № 2. — С. 278—284.
2. *Бривзинис Р. Э.* Экспериментальное определение остаточных напряжений при намотке однонаправленных стеклопластиков // Мех. полимеров.— 1966.— № 1.— С. 123—129.
3. Результаты экспериментального исследования остаточных напряжений в намоточных изделиях из стеклопластика при малом начальном усилии натяжения стеклоленты / *В. Л. Благонадежин, Г. В. Мишенков, В. Н. Николаев* и др. // Труды МЭИ. «Динамика и прочность машин».— 1970.— Вып. 74.— С. 94—97.
4. *Николаев В. Н., Инденбаум В. М.* К расчету остаточных напряжений в намоточных изделиях из стеклопластиков // Мех. полимеров.— 1970.— № 6.— С. 1026—1030.

Изв. АН АрмССР (сер. ТН), т. XL, № 5, 1987

ЭНЕРГЕТИКА

Г. А. АЙРАПЕТЯН, Р. Д. МУРАДЯН, А. Н. МУСАЕЛЯН, И. З. ЧЕРНОМЗАВ

ВЛИЯНИЕ РАЗБРОСА ПАРАМЕТРОВ ТУРБИНЫ К-300-240 И ЕЕ *САР* НА ДЛИТЕЛЬНОСТЬ УПРАВЛЯЮЩЕГО ИМПУЛЬСА

Выбор управляющих воздействий в электроэнергетических системах (ЭЭС) при аварийном управлении мощностью паровых турбин в настоящее время производится на основе расчета электромеханических переходных процессов (ЭМПП) с привлечением математических методов оптимального управления [1]. При этом независимо от способов управления (по замкнутому или разомкнутому циклам) определение параметров управляющего импульса (УИ) во многом зависит от точности моделирования, параметров турбины и ее системы автоматического регулирования (САР). Значения этих параметров меняются в процессе эксплуатации, в то же время аварийное управление мощностью паровых турбин чувствительно к параметрам УИ [2].

Учитывая, что точная информация о параметрах объекта в любой момент времени отсутствует, противоаварийное управление турбинами должно быть адаптивным. Если иметь в виду естественный разброс между параметрами отдельных турбоагрегатов, а также применяемую при математическом моделировании унификацию параметров, становится очевидным целесообразность моделирования системы базовыми, унифицированными параметрами с последующим внесением поправок на длительность выбранного УИ.