

ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМОВАНИЯ КОМПОЗИТНЫХ СТЕРЖНЕЙ СПОСОБОМ РАДИАЛЬНОГО ОБЖАТИЯ. Ч.1. АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ УТЯЖЕК

Г.И. Русских, Ю.Г. Афанасьев

Статья посвящена анализу конструкций устройств утягивания пропитанных жгутов (утяжек) в технологии получения композитных стержней способом радиального обжатия. Дан морфологический анализ конструкций, вариации их исполнения.

Известные способы непрерывного получения стержней из полимерных композитов однонаправленного армирования, как правило, основаны на протягивании через фильеру предварительно пропитанного в связующем стекловолокнистого или т.п. материала. Наиболее известный из таких способов является пултрузия, когда предварительно пропитанный жгут формируется и полимеризуется в

фильере или в системе фильер [1]. Эта технология обеспечивает получение стержней различного сечения с массовым содержанием связующего (отношение массы связующей матрицы к массе армирующих волокон) не менее 20 %.

Известен другой способ, когда формирование стержней происходит согласно схеме, представленной на рис.1.

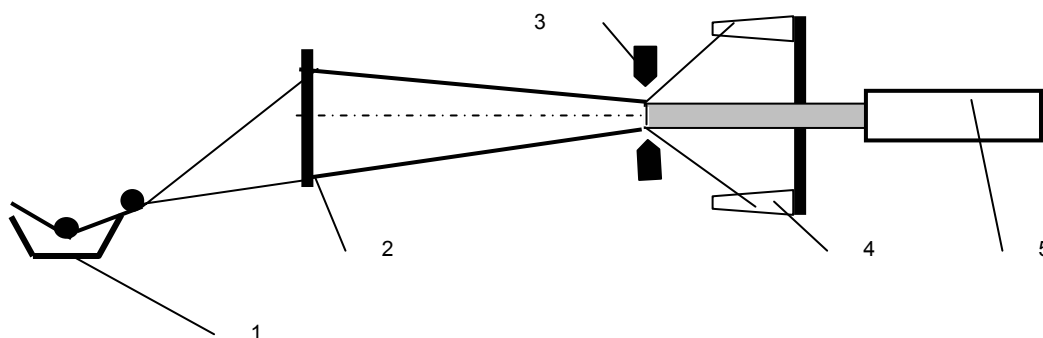


Рисунок 1 – Схема получения стержня с утолщением: 1 - ванна пропитки; 2 - кольцевая раскладочная гребёнка; 3 - устройство утягивания (утяжка); 4 - вертлюг-укладчик кольцевых нитей; 5 - печь полимеризации

Фиксация формы стержня осуществляется кольцевой нитью. Утягивание пропитанных стекловолокон имеет свои ограничения, так как усилие утягивания ограничено прочностью кольцевой нити.

В настоящее время известны специальные устройства утягивания пропитанного жгута в зоне фиксации кольцевой нитью [2]. Устройство такого типа получило у специалистов термин «утяжка». Место размещения утяжки показано на рис.1.

Ниже приведён морфологический анализ функций и конструктивных схем конструкций утяжек, применение которых приводит к решению поставленных задач утягивания.

Функциональные требования к утяжке в совокупности приведены на схеме рис. 2.

Центральным элементом конструкции утяжки является рабочий элемент- элемент

непосредственно контактирующий с формируемым стержнем.

Рабочие элементы обеспечивают функции утяжки благодаря контактному скольжению по периметру формируемого стержня.

1. Силовая функция утяжки состоит в радиальном воздействии на жгут, и конструктивно может быть реализована в конструкции рабочего элемента в форме стержня или пластины, придавливаемой к формируемому стержню.

2. Геометрическая функция утяжки состоит в обеспечении требуемой геометрии сечения по ходу движения формируемого стержня.

3. Центрирующая функция утяжки состоит в обеспечении радиальной неподвижности оси формируемого стержня посредством уравнивания сил воздействующих на стержень.

4. Временная функция утяжки означает, что в данный момент времени боковое ускорение формируемого стержня под действием сило-

ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМОВАНИЯ КОМПОЗИТНЫХ СТЕРЖНЕЙ СПОСОБОМ РАДИАЛЬНОГО ОБЖАТИЯ. Ч.1. АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ УТЯЖЕК

вых факторов предполагается близким или равным нулю. Предполагается уравновешенность контактных усилий в каждый момент времени.

5. Функция места силового воздействия утяжки обеспечивает точность приложения сил относительно места укладки фиксирующих кольцевых нитей. Эта функция обеспечивается кинематикой рабочих элементов утяжки.

6. Функция контроля усилий необходима для точного дозирования контактных усилий обжатия формуемого стержня. Не-

обходимость равенства усилий каждого рабочего элемента с целью обеспечения равновесия формуемого стержня, правильности его формы, равномерности контактных напряжений.

Конструктивные схемы утяжек

Геометрия размещения рабочих элементов.

По зоне контакта рабочих элементов утяжки можно разделить на утяжки с точечным контактом и утяжки с линейным (криволинейным) контактом. Схемы утяжек с точечным контактом показаны на рис. 3.

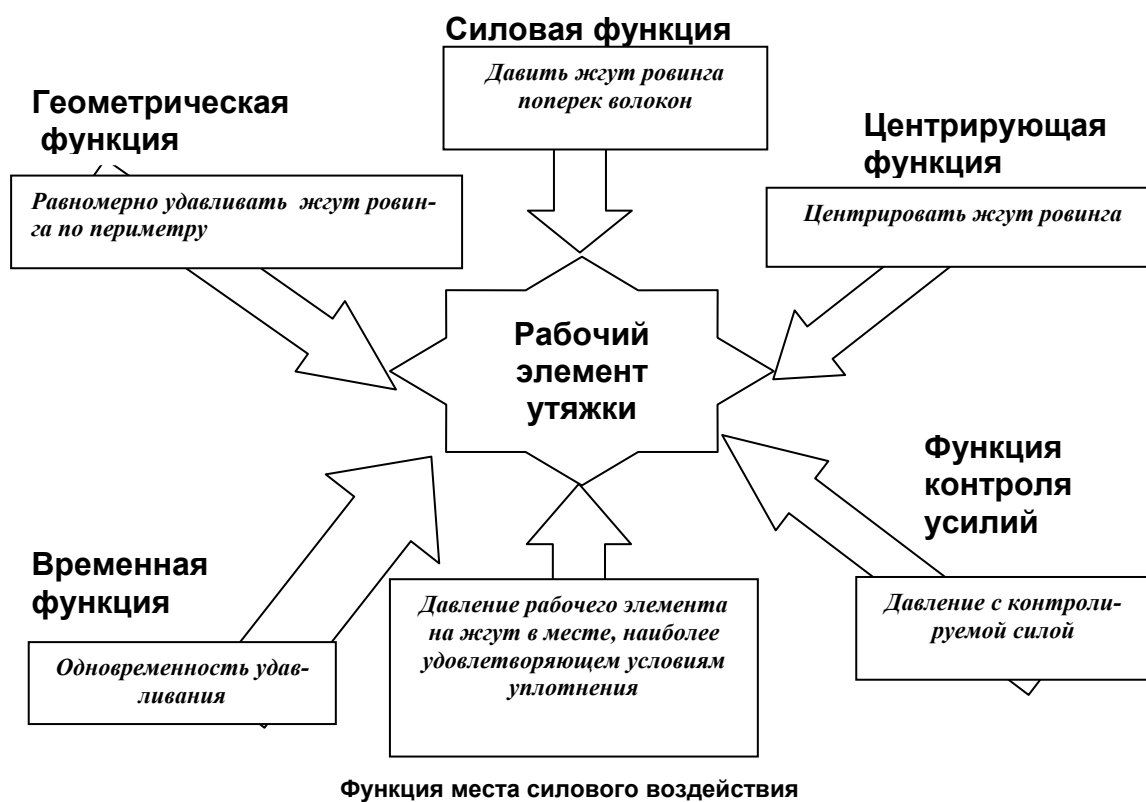


Рисунок 2 – Функциональные требования к утяжке

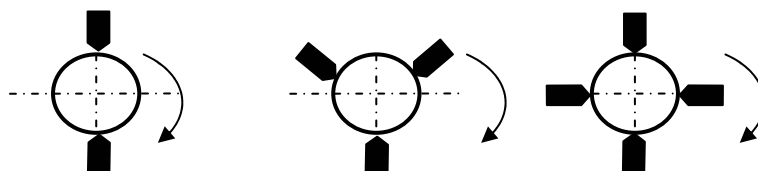


Рисунок 3 – Схемы утяжек с точечным контактом рабочих элементов

Исходя из условия равновесия сил, возможны двух и многоточечные осесимметричные схемы размещения рабочих элементов утяжки.

Линейность контакта обеспечивается вращением системы рабочих элементов вокруг формуемого стержня. Условие фиксации формы стержня в обжатом состоянии – в подаче кольцевых нитей в зону, непосредственно примыкающую к плоскости вращения рабочих элементов (рис. 4).

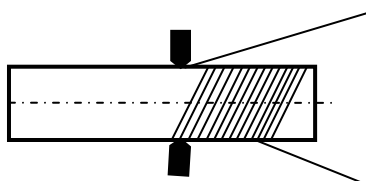


Рисунок 4 – Схема укладки кольцевой нити при обжатии стержня утяжкой

Схемы с линейным контактом рабочих элементов со стержнем показаны на рис. 5.

Отличие точечного контакта от линейного весьма условно, так как при форме рабочего элемента в виде прямого стержня или криволинейного стержня с радиусом кривизны большим, чем у формуемого стержня, имеет место быть контактное пятно (точечный контакт). В то же время форма рабочего элемен-

та в такой геометрии облегчает скольжение по формуемому стержню рабочего элемента, снижая тем самым вероятность повреждения волокон.

Условие линейного контакта должно удовлетворять условию $\delta \geq S$, где δ – ширина контактной зоны, S – шаг намотки кольцевой нити.

Кинематические схемы утяжек

Возможные конструкции утяжек по кинематике движения рабочего элемента можно разделить на следующие схемы (рис. 6)

Смыкание–размыкание рабочих элементов утяжки возможно посредством пружин разных конструкций, а также энергией сжатых газов или жидкости (рис. 6). Два последних варианта практически возможны только на схеме с независимым приводом. Для смыкания рабочих элементов возможно применение и электрической энергии (электромагнитов).

Схемы передачи энергии на утяжку

Утяжка может иметь независимый привод вращения или может быть закреплена на вращающейся части кольцевого нитеукладчика-вертлюга.

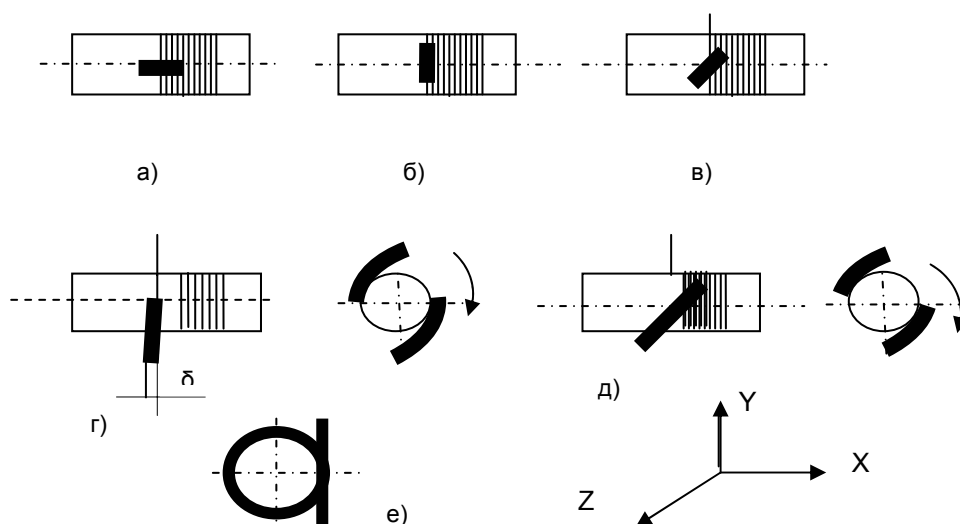


Рисунок 5 – Схемы с линейным контактом рабочих элементов: а) контакт параллельно оси X; б) контакт параллельно оси Y; в) контакт диагонально параллельно плоскости Z-Y; е) – петлевая схема

ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМОВАНИЯ КОМПОЗИТНЫХ СТЕРЖНЕЙ СПОСОБОМ РАДИАЛЬНОГО ОБЖАТИЯ. Ч.1. АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ УТЯЖЕК

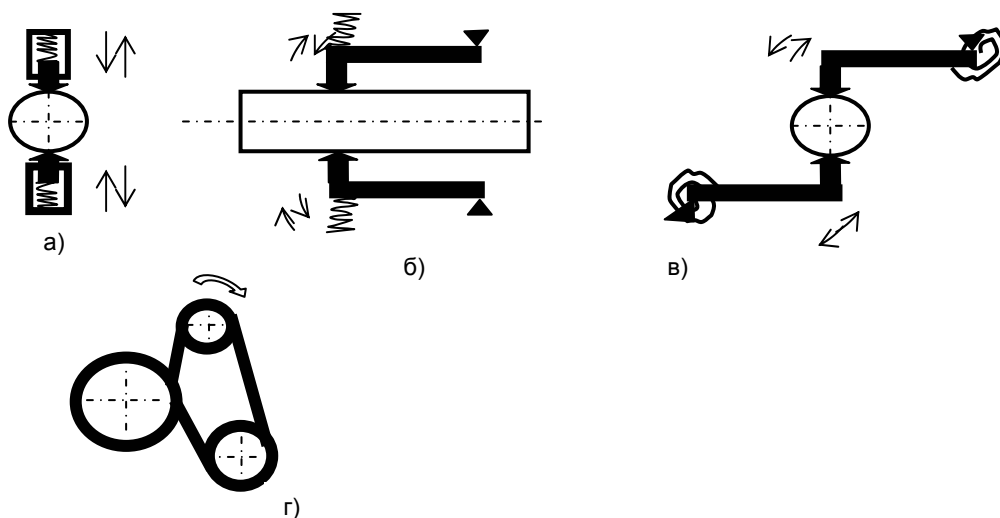


Рисунок 6 – Кинематические схемы утяжек: а) радиальные; б) работающие в плоскости продольного сечения стержня; в) работающие в плоскости поперечного сечения стержня; г) с петлевым охватом (схема Щигрова В.И.)

На рис. 7 представлены два разных варианта приводов утяжек. Достоинство независимого привода - в возможности регулировки скорости и даже направления вращения, а схемы с размещением утяжки на вертлюге в простоте компоновки узлов. Условие работы утяжки- в синхронности обжата и укладки фиксирующей кольцевой нити $\omega_1 \geq \omega$ для независимого привода. В случае схемы рис. 7б синхронность устанавливается автоматически.

Физические свойства утяжки

1. Свойство обжата и формования структуры стержня.

Основное назначение утяжки в обжате и формовании отдельных пропитанных жгутов стекловолокон в единый жгут, в том числе с вложенным вовнутрь вкладышем, с одновременной фиксацией формы кольцевой нити.

2. Свойство утяжки к удалению излишков связующего.

Пропитанный в ванне жгут стеклянной арматуры, в виде набора ровингов или нитей, представляет собой материал с избытком связующего (40-50 % от массы материала вместо потребных 15-20 %). Избыток связующего частично отжимается на отжимных валках ванны, устройствах отжима, сборных кольцевых гребенках и линейках.

Для удаления остатков излишка связующего необходимо еще деформирование

(обжатие) жгута перед нанесением кольцевого армирующего слоя.

Утяжка представляет собой *псевдо-фильеру* (фильеру с нежесткой границей периметра). При кольцевом или точечном осесимметричном обжате избыток связующего фильтруется через слой армирующего материала и вытекает на поверхность жгута. Часть связующего стекает вниз, другая часть попадает на рабочий элемент утяжки и за счет центробежных сил разбрызгивается. Фактор разбрызгивания является вредным качеством утяжки и должен быть, по возможности, минимальным.

3. Вибрационное воздействие утяжки на формируемый жгут.

Рабочие элементы утяжки имеют некоторую несоосность с формируемым изделием. Кроме того, имеющийся небольшой дисбаланс прикладываемых к изделию сил вместе с несоосностью в совокупности приводят к вибрационным явлениям, воздействующим на изделие.

Согласно [3, 4] при низкочастотной вибрации на пропитанный стекломатериал возникают следующие эффекты и явления.

Реологическая нелинейность. В результате низкочастотных сдвиговых колебаний увеличивается среднеинтегральная скорость движения связующего, т.е. растет скорость пропитки.

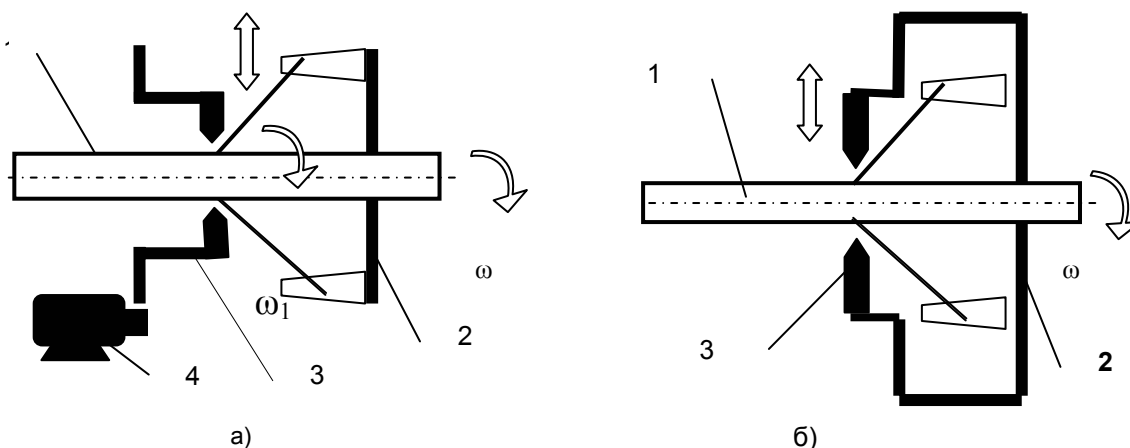


Рисунок 7 – Схемы передачи энергии вращения на утяжку: а) с независимым приводом; б) с установкой на вертлюге: 1 - формируемый стержень; 2 – вертлюг; 3 - утяжка; 4 - независимый привод

Пристенное скольжение. При достаточно большой интенсивности периодического сдвигового деформирования пропитанный стекломатериал (жгут) переходит в вынужденное высокоэластичное состояние, в результате чего, нарушается адгезионное взаимодействие с твердой стенкой закладного элемента. Это приводит к выравниванию плотности по толщине стеклопластика и уменьшению потребного усилия прижатия рабочих элементов утяжки.

Виброуплотнение и дегазация. Периодические импульсы вызывают в вязкотекучей среде пропитанного ровинга вибрацию стекловолокон и молекул связующего, что приводит к дегазации с образованием однородной, плотной, безпористой структуры.

Ускорение релаксационных процессов. Под воздействием вибрационных импульсов у пропитанного стекломатериала ускоряются релаксационные процессы, что связано с разрушением и перестройкой структурных связей. При этом снижаются остаточные напряжения, интенсифицируется процесс укладки ровингов в плотную структуру.

Согласно [4] виброколебания с частотой 50 герц и амплитудой 0,1-0,3 мм уменьшают давления прессования в 2 раза.

Качество изделий со сложными и глубокими выемками резко улучшается. В работе [5] также делается вывод, что волнообразное циклическое приложение давления позволяет достичь оптимального уплотнения стеклопластика.

Таким образом, устройство утяжки положительным образом компенсирует отрицательные технологические факторы, в частности несоосность формобразующего узла и оси изделия, имеющим место быть, в частности, при формировании через жёсткую фильеру.

Практические результаты применения утяжек

Утяжки с различным конструктивным исполнением были исследованы при отработке технологии формирования стержней различного диаметра. Утягивание по технологии описанной в данной статье существенно уплотняет структуру стеклопластика. Повышение коэффициента армирования приводит к увеличению прочности и жесткости в направлении армирования уменьшая сопротивление межслойному сдвигу, межслойному отрыву и расслаиванию. Вместе с тем, силовая намотка способствует уменьшению числа дефектов, непроклеев, раковин и т.п. Натяжение волокон при утягивании жгута, за счет их выпрямления, также ведет к увеличению прочности и жесткости в направлении армирования [5].

В таблице даны результаты намоток стержней разного диаметра. Намотка проводилась с использованием стеклоровинга линейной плотностью 1200-2500 текс и эпоксидного связующего с отвердителем ангидридного типа (ЭДИ).

В части опытов использовалось связующее с аминным отвердителем, имеющей при пропитке волокон большую вязкость.

ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМОВАНИЯ КОМПОЗИТНЫХ СТЕРЖНЕЙ СПОСОБОМ РАДИАЛЬНОГО ОБЖАТИЯ. Ч.1. АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ УТЯЖЕК

Таблица

Результаты исследований утяжек на стержнях разного диаметра

№ опыта	Количество рабочих элементов утяжки по рис.3	Д _{стержн} , мм	Содержание связующего, % по массе
1	нет	9,1	23
2	2	12,5	14,3
3	2	12,5	16,5
4	2	15,5	16,4
5	2	22	11,9
6	2	22	15,7
7	3	17,5	18,9
8	3	15,3	13,4
9	3	18,8	14,5
10	3	19,1	18,8
11	3	24	14,9
12	3	32	16,8
13	3	19,7	14,7
14	3	34	13,5
15	2ряда по 3	20,1	20,5
16	2ряда по 3	19,6	15,2
17	2ряда по 3	32	17,1
18	2ряда по 3	34	13,8
19	3	19	15,6*
20	3	30	14,8*

Примечание. * - связующее на амином отвердителе

ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник по композиционным материалам: В 2-х кн. Кн.2 под ред. Дж. Любина; пер. с англ.- М.: Машиностроение, 1988. – 584с.

2. Заявка на изобретение РФ №2004128397/03 от 24.09.04 г. Способ получения стержня переменного диаметра и устройство для его осуществления. Башара В.А., Гаврилов В.В., Кархин С.А., Дробышев В.А., Русских Г.И. Положительное решение от 12.10.05 г.

3. Басов Н.И., Любартович С.А., Любартович В.А. Вибропрессование полимеров, Л.: Химия, 1979. – 160 с.

4. Коробов В.И. Технологический процесс переработки терморезистивных материалов способом компрессионного вибропрессования с адаптивной системой управления. Пластические массы, №2. – 1995. – С. 31.

5. Шалыгин В.Н., Пашков Г.С. О некоторых технологических свойствах стеклопластиковых композиций. //Армированные пластики. Сборник трудов ЛМИ №82. – Л., 1970. – С.81-88.

6. Болотин В.В. Влияние технологических факторов на механическую надёжность конструкций из композитов//Механика полимеров, №3, 1972. – С. 529-540.