

ОСНОВНЫЕ ПРИЗНАКИ КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ЗАГОТОВОК ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАСКРОЯ ПРЕПРЕГОВ

© 2011 А.В. Романов, Г.Л. Ривин, Н.А. Кузина

Институт авиационных технологий и управления
Ульяновского государственного технического университета

Поступила в редакцию 12.05.2011

В настоящей статье авторы рассматривают подход к разработке классификатора заготовок для организации автоматизированного раскроя препрегов при производстве изделий из полимерных композиционных материалов в условиях серийного производства; рекомендуют оригинальную систему классификационных признаков оценки каждого слоя или заготовок слоя изделия из полимерных композитов. Обосновано, что для обеспечения решения задачи оптимизации раскроя препрегов, а, следовательно, и в целом повышения эффективности производства изделий из ПКМ необходимо наличие подсистемы, позволяющей иметь описание каждого слоя препрега изделия в виде, наиболее отражающем суть процесса автоматизированного раскроя. Решение задачи автоматизированного раскроя препрегов позволит снизить расход дорогостоящих материалов, а в конечном итоге, себестоимость продукции.

Ключевые слова: конструкторско-технологическая классификация, препрег, полимерные композиты

Развитие современной техники и особенно авиации стало невозможным без применения материалов с высокими и сверхвысокими физико-механическими и эксплуатационными свойствами. Композиционные материалы получили распространение в авиационной технике в течение последних десятилетий [1].

При разработке и изготовлении изделий из композиционных материалов приходится учитывать не только влияние внешних условий, но и влияние технологических факторов и условий организации проведения технологического процесса на свойства материалов конструкций.

Создание изделий из полимерных композиционных материалов в последнее время стало объектом особого внимания. Цель создания композиционных материалов состоит в том, чтобы достичь комбинации свойств, не присущих каждому из исходных материалов по отдельности. Композиционный материал можно изготавливать из компонентов, которые сами по себе не удовлетворяют всем предъявляемым к материалу требованиям [2].

Самый важный вклад в прочность композита вносит ориентация слоя и структурная характеристика отвержденного связующего – матрицы. Слои могут быть однонаправленными, рас-

полагаться по заданной схеме под углами относительно базовой оси, или случайные, расположенные в любом направлении.

Внутренние напряжения определяются видом и свойствами исходных материалов, термоупругими характеристиками слоя, технологическими параметрами процесса изготовления и схемой армирования (укладки) слоев элемента конструкции.

Серийное производство изделий из ПКМ требует совершенно другого подхода к организации производства, чем единичное на всех стадиях технологического процесса. Одним из определяющих факторов технологии изготовления изделий из ПКМ является сокращение длительности производственного цикла выкладки препрегов. Особенность авиационных конструкций из ПКМ состоит в оригинальности и не всегда возможным применением автоматизированных технологий при выкладке препрегов на технологическую оснастку. В данной ситуации для обеспечения снижения трудоемкости и себестоимости продукции необходимо внедрение автоматизированных технологий подготовки препрегов для их выкладки – внедрение технологии централизованного автоматизированного раскроя препрегов путем создания на производстве специализированного участка с необходимым оборудованием.

Очевидно, что нерационально выполнять раскрой препрегов индивидуально для конкретного изделия, а необходимо предварительно выполнить анализ запланированной номенклатуры изделий для производства, произвести операцию

Романов Алексей Владимирович, аспирант кафедры «Самолетостроение».

Ривин Георгий Леонидович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Самолетостроение».

Тел. (8422) 20-96-96.

Кузина Надежда Александровна, аспирант кафедры «Самолетостроение».

группирования слоев препрегов из которых предполагается изготовление изделий по конструкторско-технологическим признакам.

В результате будет создан план раскроя препрегов, обеспечивающий также оптимальный расход материала, что очень важно, учитывая высокую стоимость композитов.

Изделия из полимерных композиционных материалов (ПКМ) получают путём выкладки слоёв армирующего наполнителя. Эти слои выкладываются с соблюдением следующих параметров:

- марка армирующего наполнителя;
- марка связующего;
- угол выкладки слоя препрега;
- количество слоёв препрегов;
- количество заготовок препрега в одном слое;
- необходимость подреза слоев препрега при выкладке для исключения образования складок;
- величина нахлёста слоев препрега;
- припуск на обрезку.

При создании плана раскроя препрегов для группы деталей необходимо в первую очередь отобрать изделия с признаками, характерными для изготовления монолитных изделий из ПКМ, так как они могут самостоятельно участвовать в сборке самолета или склеиваться в трехслойные конструкции.

Данные конструкции являются определяющими, и с них однозначно необходимо начинать производство, поэтому первыми конструкциями, которые должны быть раскроены, и рассматриваться при формировании плана раскроя будут монолитные изделия, входящие в трехслойные конструкции. Это связано с тем, что если они не будут изготовлены, то, очевидно, что дальнейшее производство остановится.

Для обеспечения решения задачи оптимизации раскроя препрегов, а, следовательно, и в целом повышения эффективности производства изделий из ПКМ необходимо наличие подсистемы, позволяющей иметь описание каждого слоя препрега изделия в виде, наиболее отражающем суть процесса автоматизированного раскроя.

Имеющиеся работы в области классификации, связанные с производством композитов, охватывают классификационное описание непосредственно конструкций, что является немаловажной составляющей в подготовке производства, при этом не рассматривались вопросы описания слоев препрегов изделий и не только с точки зрения автоматизации процесса их раскроя, а с точки зрения группирования слоев препрегов на столе раскройного оборудования для оптимизации расходования материалов.

Рассмотрим основные признаки конструкторско-технологической классификации препрегов для изготовления изделий из ПКМ.

В основу классификации положено разделение всех слоев препрегов в зависимости от конструктивно-технологической схемы выкладки препрегов для изготовления изделия из ПКМ на три класса:

- однонаправленная;
- основа направлена под заданным углом, отличным от нуля;
- выкладка заготовкой, когда ширина заготовки меньше ширины выкладываемого изделия, то есть выполняется, как выкладка, так и сборка-склейка слоя препрега заготовки изделия. Этим определяются возможность группирования заготовок во временно создаваемую технологическую заготовку, подлежащую раскрою, то есть разрабатывается карта раскроя.

Количество признаков в предлагаемом классификаторе устанавливается минимальным, но достаточным для выбора оптимальных вариантов в процессе группирования слоев препрега при создании плана карты раскроя.

В качестве основных признаков выбраны следующие классификационные признаки:

1. Тип армирующего наполнителя и марка связующего, где для разных типов армирующего наполнителя определены требования к технологии выкладки при выполнении подрезки или при стыковке заготовок входящих в выкладываемый слой изделия. Например, армирующий наполнитель на основе стеклянных волокон надо укладывать с нахлёстом в 15-20 мм (если нет иного указания), а в случае с армирующими наполнителями на основе углеродных волокон нахлёст запрещен, слои укладываются встык.

Для каждого типа армирующего наполнителя характерны свои механические свойства и характеристики. Разные марки армирующих наполнителей имеют разные механические свойства. В конструкторской документации всегда строго оговорено, из каких препрегов и в какой последовательности следует выкладывать изделие. Бывает так, что изделие в какой-то зоне усиливают армирующим наполнителем другой марки, или выкладывают полностью слой из разных препрегов. Например, силовые слои изделия могут быть выложены из армирующего наполнителя на основе углеродной ленты, внутренний слой, имеющий контакт с сотовым металлическим наполнителем представляет слой препрега на основе стеклянных волокон, а в качестве поверхностного слоя укладывают армирующий наполнитель на основе органических волокон. Естественно, что для изделий выходящих на теоретический контур самолета и имеющих кривизну геометрические параметры каждого слоя будут отличаться друг от друга.

На предприятиях используют препреги для выкладки, поэтому целесообразно именно их

классифицировать. Предлагается препрег кодировать трёхзначным цифровым кодом по виду волокон армирующего наполнителя и марке связующего. Первая цифра означает вид волокна армирующего наполнителя:

- 1 – стеклянные волокна;
- 2 – органические волокна;
- 3 – углеродные волокна;
- 4 – гибридные.

Связующие различаются по своей природе, свойствам и технологии переработки. В одном изделии из ПКМ всегда используется только одна марка связующего, будь это монолитное изделие, например, панели обшивок или лонжерон закрывка, т.е. «элементарные» изделия. Они используются самостоятельно при сборке самолетов или входят в трёхслойные панели. Таким образом, все элементарные изделия изготавливаются из препрегов одной марки связующего. Тип и марка армирующего наполнителя в изделии может быть различным, но марка связующего всегда одна. Вторые две цифры в коде означают порядковый номер связующего по каталогу.

Итог, тип и марка армирующего наполнителя, и марка связующего задают объект – рулон или катушку препрега, которые будут подвергаться раскрою. Размер заготовки, размещенной на столе и подлежащей раскрою является определяющим для решения задачи разработки карты оптимального раскроя.

2. *Угол выкладки*, заданный в чертеже для каждого слоя указывает направление основы армирующего наполнителя и является обязательным при разработке карты раскроя препрега. Каждый слой изделия будет раскладываться на полосе препрега под определённым углом, что и определяет оригинальность выкройки каждого слоя и отличие выкройки предыдущего слоя от выкройки последующего слоя. Таким образом, этот признак показывает, как именно надо расположить заготовки на рулоне препрега при раскрое.

Предлагается в коде заготовки слоя изделия обозначить значение угла выкладки его значением в градусах.

3. *Количество слоёв армирующего наполнителя*, т.к. изделия из ПКМ получают послойно, выкладывая слой за слоем. В конструкторской документации чётко оговорено количество слоёв, материал каждого слоя, угол выкладки и последовательность выкладки. С учётом специфики изделия изделие может состоять из разного количества слоев и материалов. Например, сочетание армирующих наполнителей на основе углеродной ленты и органических тканей, или армирующих наполнителей на основе стеклянных волокон и органической ткани. Сочетание слоёв и материалов может различаться в каждом

наименовании изделий. Чаще всего каждый последующий слой отличается от предыдущего своими линейными размерами, что связано со сложной пространственной геометрической формой изделий из композитов.

Кроме того, многие изделия непостоянны по толщине, имеются усиления под установку кронштейнов навески и т.п., которые укладываются внутри пакета, а это значит, что за счёт этого габариты укрывающего слоя также будут отличаться даже при совпадении угла выкладки. В конструкторской документации этот слой не имеет отличительных признаков, но при автоматизированном раскросе он должен получить свою отличающуюся классификационную характеристику.

Количество слоёв в изделии может быть различным. Кодирование выполняется четырьмя знаками кода. Первая цифра означает порядковый номер слоя, а следующие цифры – три последние цифры чертежного номера слоя по спецификации изделия из ПКМ.

4. *Количество заготовок в слое* для тех случаев, когда невозможно выложить слой из одной заготовки препрега, так как он просто не помещается по его ширине. Данная ситуация возникает в том случае, когда ширина слоя больше ширины заготовки препрега, например, при выкладке препрега из углеродной ленты. Следовательно, надо разделить слой на части и раскраивать каждую часть в отдельности. В дальнейшем из этих частей собирают слой изделия. Это можно сделать при условии, что на каждое изделие есть электронная модель и модель каждого слоя в изделии. Поэтому, если собирать слой из частей, то, необходимо учесть ограничения по стыкам заготовок слоя. Стыки заготовок слоя должны быть разнесены по слоям всего изделия. Ни в коем случае нельзя располагать стык в соседних слоях в одном месте, их необходимо разносить. Требования по расположению стыков оговариваются в конструкторско-технологической документации. Кроме того, при выкладке изделий сложной пространственной формы необходима подрезка слоя препрега для исключения образования складок, в противном случае возникает проблема прилегания препрега к форме. Препрег топорщится или образуются карманы, а это снижает прочность изделия, чтобы этого избежать, необходимо сделать подрез слоя. Возможно было бы разделить выкладываемый слой на отдельные заготовки, но тогда необходимо решить задачу разнесения стыков слоя, что усложняет процесс выкладки и приводит к увеличению трудоемкости изготовления изделия. Наиболее целесообразным будет выполнить подрез слоя и тем самым решить проблему местного прилегания препрега к форме.

Естественно, что подрез необходимо разнести по слоям всего изделия так же, как при выполнении нахлёста при стыковке слоя. В работе [3] показана возможность прогнозирования, используя понятие относительной критической формуемости, оценивать возможность выкладки изделия из целой заготовки. Развивая этот подход и используя современные информационные технологии можно прогнозировать величину подрезки слоя и выполнить при автоматизированном раскрое препрегов, что позволит получить максимально экономичный раскрой и свести отходы при раскрое к минимуму.

Кодирование выполняется четырьмя знаками. Первая – количество заготовок в слое, а следующие цифры – три последние цифры чертежного номера слоя по спецификации изделия из ПКМ.

5. *Припуск технологический по периметру изделия*, т.к. современная технология сборки самолетов требует иногда поставки входящих в узел деталей с припуском для их подгонки при сборке. В связи с этим изделия из ПКМ поставляются на сборку с припуском. Кроме того, в изделиях из ПКМ требуется организация технологического припуска по контуру, так как края имеют неровности, натеки связующего, которые механически удаляются. В некоторых изделиях имеются вырезы, окна и т.п., которые из-за соображений технологии изготовления целесообразно не получать при выкладке изделия, а в дальнейшем получить механической обработкой. Очевидно, что наличие технологического припуска и выкладка изделий из ПКМ без учета наличия вырезов, окон и т.п. априори учитывается при разработке технологической модели геометрии слоя заготовки препрега, подлежащего автоматизированному раскрою.

6. *Нахлёст составных частей слоя препрега* зависит от типа армирующего наполнителя в препреге, поэтому размер нахлёста может различаться. Для углеродных армирующих наполнителей величина нахлёста равна нулю – укладка производится встык. Для остальных типов армирующих наполнителей нахлёст необходим. Стандартная величина нахлёста равна 20 мм. Если в чертеже изделия предусмотрена другая величина нахлёста, то это отображается в коде в виде цифры, равной значению величины нахлёста. Кодирование нахлёста двухзначной цифрой. Если нахлёст равен нулю, то в коде это отображается «00» (два нуля), если он предусмотрен, то значением величины нахлёста в миллиметрах.

7. *Подрезка слоя препрега* осуществляется, когда заготовка слоя препрега при выкладке образует складку и не может быть выложена без подрезки, то эта информация учитывается в коде слоя. Предлагается кодировать одной цифрой, а

именно: подрез есть – 1, подреза нет – 0.

8. *Размерная характеристика слоя*, если классификация по данному признаку позволяет распределять слои препрега на столе раскройного станка, то есть участвовать в формировании плана раскроя препрега, характеризующиеся общностью марки армирующего наполнителя и марки связующего.

Произведение проекции длины на ширину слоя дает возможность установить площадь, занимаемую слоем. С учетом свободной площади стола раскройного станка можно определить возможность раскроя слоев препрега или возможность комбинации слоя препрега из отдельных заготовок. Данный признак с учетом ряда других признаков, позволяет рассчитать оптимальное количество слоев изделия из ПКМ, размещаемых на столе раскройного станка, и определяет полезную площадь группового раскроя препрегов.

Возможно представить размерный ряд следующим образом. По длине слоя до 4000 мм, при большей длине слоя принцип построения кода продолжается по аналогии. Классификация по ширине слоя ограничивается максимальной шириной армирующего наполнителя – 1000 мм, при большей ширине принцип построения кода продолжается по аналогии.

Рассмотрим оптимизацию раскроя препрегов на примере панели залива пассажирского самолета.

В конструкции панели имеется обшивка, состоящая из восьми слоев (стеклоткань Т-10-14, связующее ЭДТ-69Н, угол ориентации при выкладке – $0^\circ, 90^\circ$) и усиливающих поясов (стеклоткань Т15(П)-76, связующее ЭДТ-69Н, угол ориентации – $0^\circ, 90^\circ$), которая изображена на рис. 1.

Для получения карты раскроя необходимо использовать параметрическую модель панели самолета, из которой можно получить модель отдельного слоя препрега. На рис. 2 изображена

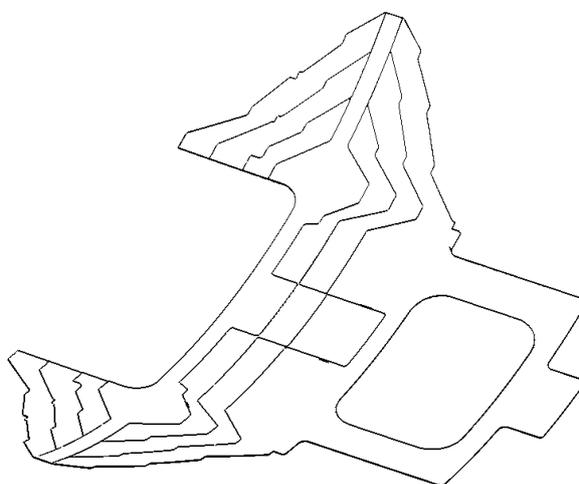


Рис. 1. Панель залива пассажирского самолета

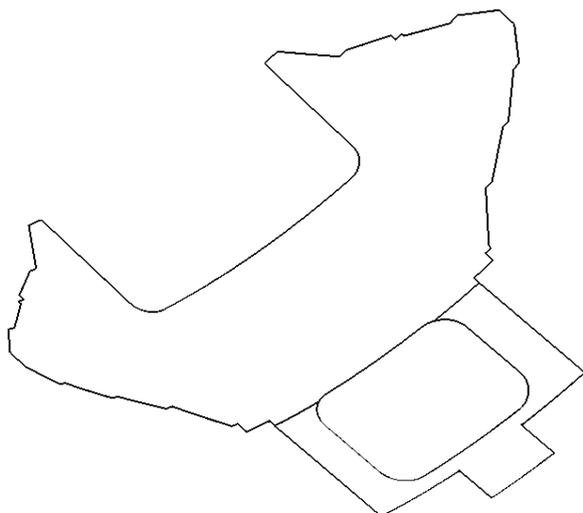


Рис. 2. Модель отдельного слоя

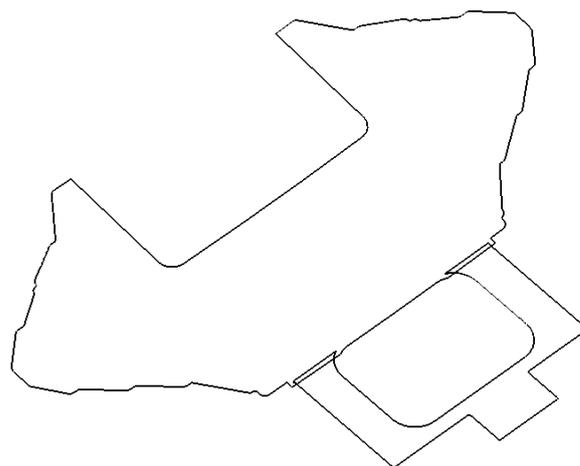


Рис. 3. Развёртка слоя

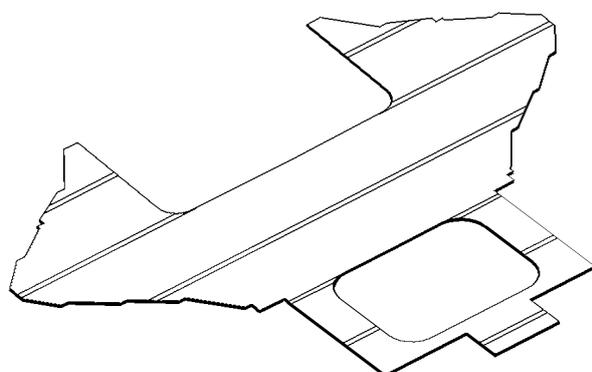
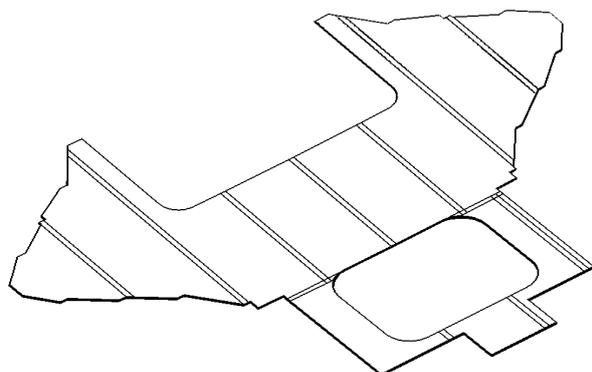
Угол выкладки 0° Угол выкладки 90°

Рис. 4. Горизонтальный и вертикальный раскрой препрега

модель отдельного слоя, а на рис. 3 модель развёртки этого слоя.

Если выкладка отдельным полотном не может быть реализована из-за того, что образуются складки или необходима подрезка армирующего наполнителя необходимо развёрнутый слой разделить на полосы. Для примера выберем полосы шириной 300мм (так как раскрой ведёт-

ся для стеклоткани Т-10-14, то, следовательно, в выкройку введены нахлёсты полос – 20мм). Расположение полос в слое показано на рис. 4.

В результате получаем выкройки заготовок слоя, которые в дальнейшем расположив на полотне препрега можно создать карту раскрой препрега (рисунки 5 и 6) и приступить к решению задачи оптимизации раскрой, с учетом планируемой к выпуску продукции.

Таким образом, оценивая результаты разработки метода создания классификатора для автоматизированного раскрой препрегов можно сделать вывод, что необходима постановка задачи планирования оптимального раскрой дорогостоящих препрегов в условиях производственного процесса изготовления множества изделий из полимерных композиционных материалов.

Данную задачу можно рассматривать, как задачу раскрой полотна препрега, путем размещения на нем слоев или полос слоя изделия, для обеспечения оптимизации расхода дорогостоящих материалов с использованием имеющихся отходов от операций предыдущих раскroев идентичных материалов и возможностью их объединения в заданный слой изделия из композита.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Халиулин В.И., Шапаев И.И. Технология производства композитных изделий: Учебное пособие. Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2004. 332с.
2. Формостабильные и интеллектуальные конструкции из композиционных материалов / Г.А. Молодцов, В.Е. Биткин, В.Ф. Симонов, Ф.Ф. Урмасов. М.: Машиностроение, 2000. 352с.
3. Гайдачук А.В. Формуемость армирующих полуфабрикатов композиционных материалов при выкладке на криволинейных поверхностях // Самолетостроение. Техника воздушного флота. 1988. Вып. 55. С.78-82.

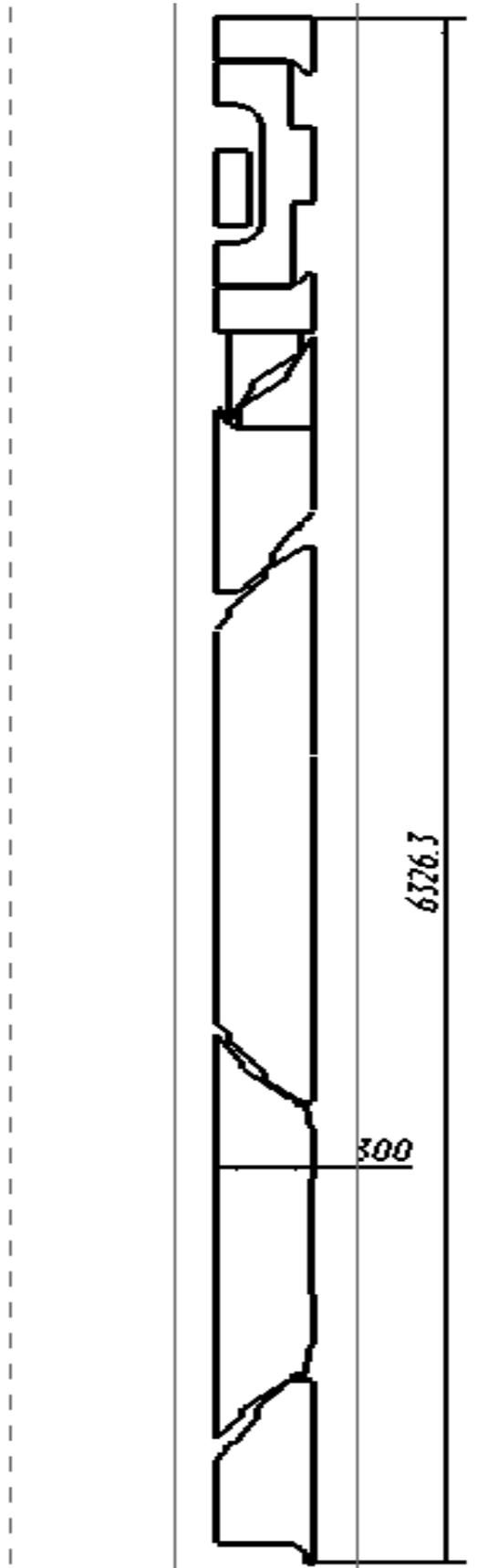


Рис. 5. Расположение на полотне препрега (выкройка 0°)

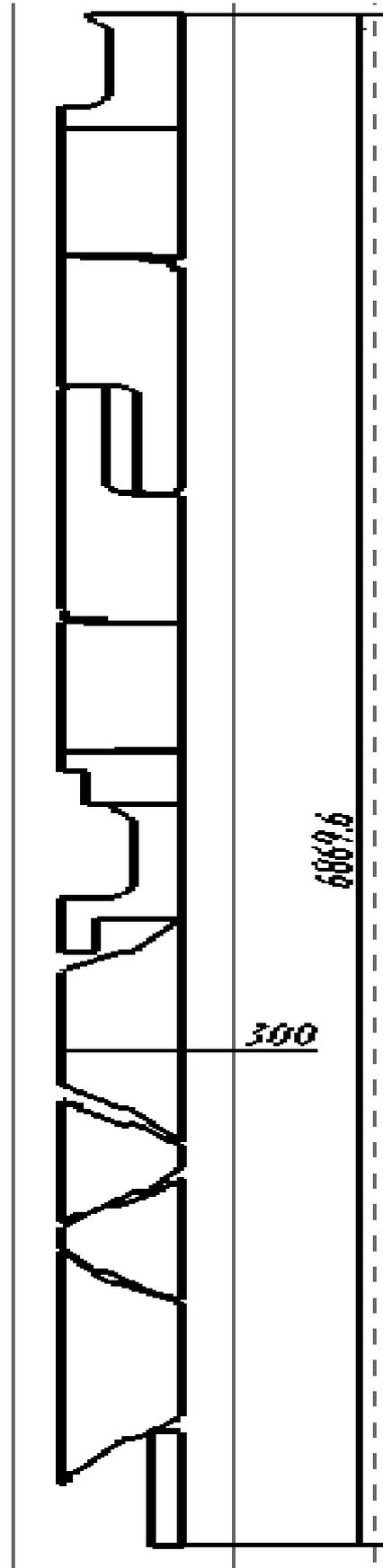


Рис. 6. Расположение на полотне препрега (выкройка 90°)

**THE BASIC ATTRIBUTES DESIGN TECHNOLOGICAL CLASSIFICATIONS
OF PREPARATIONS FOR AUTOMATED OPEN PREPREG**

© 2011 A.V. Romanov, G.L. Rivin, N.A. Kuzina

Institute of Aviation Technologies and Managements,
Ulyanovsk State Technical University

In present clause authors consider the approach to development of the qualifier of preparations for the organization automated open prepregs by manufacture of products from polymeric composite materials in conditions of a batch production; recommend original system of classification attributes of an estimation of each layer or preparations of a layer of a product from polymeric composites. It is proved, that for maintenance of the decision of a problem of optimization open prepregs, and, hence, and as a whole of increase of a production efficiency of products from PKM presence of the subsystem, allowing to have the description of each layer prepregs products in the form of, the most reflecting an essence of process automated open is necessary. The decision of a problem automated open prepregs will allow lowering the charge of expensive materials, and finally, the cost price of production.

Key words: design technological classifications, prepreg, polymeric composite materials.

Alexey Romanov, Graduate Student at the Aircraft Construction Department.

Georgy Rivin, Candidate of Technics, Associate Professor at the Aircraft Construction Department. Tel. (8422) 20-96-96.

Nadezhda Cousina, Graduate Student at the Aircraft Construction Department.