

УДК 678.8

П.Н. Тимошков<sup>1</sup>**ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИИ  
АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ВЫКЛАДКИ ПРЕПРЕГОВ**

DOI: 10.18577/2071-9140-2016-0-2-35-39

*В настоящее время все большую популярность приобретают композитные детали авиационной техники, получаемые методом автоматизированной выкладки (AFP/ATL), вытесняя традиционные технологии ручной выкладки препрегов. Внедрение таких технологий позволяет наиболее полно реализовать в изделии весь заложенный конструктором потенциал. Для этого разрабатываются новые типы материалов, обладающие различными преимуществами по сравнению с известными ранее, а также целый ряд технологий переработки и технологического оборудования.*

*Работа выполнена в рамках реализации комплексного научного направления 13.2. «Конструкционные ПКМ» («Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года») [1].*

**Ключевые слова:** автоматизированная выкладка препрега (AFP/ATL), оборудование для разрезки препрегов, перемотка разрезанного препрега.

*At present time the composite parts of aircraft, produced by the technology of automatic prepreg placement (AFP/ATL) replacing the traditional manual prepreg placement technology are increasingly popular. The introduction of such technologies allows to fully implement by engineer the entire potential of composite construction. To do this, development of new types of materials having different advantages in comparison with known before, as well as a number of technologies of processing and production equipment.*

*Work is executed within implementation of the complex scientific direction 13.2. «Constructional PCM» («The strategic directions of development of materials and technologies of their processing for the period till 2030») [1].*

**Keywords:** automatic prepreg placement (AFP/ATL), prepreg slitting equipment, slitted prepreg winding.

<sup>1</sup>Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Государственный научный центр Российской Федерации [Federal state unitary enterprise «All-Russian scientific research institute of aviation materials» State research center of the Russian Federation] E-mail: admin@viam.ru

**Введение**

Для реализации работ, запланированных в соответствии со «Стратегическими направлениями развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» [1] и касающихся разработки «Стратегии развития композиционных и функциональных материалов», необходимо внедрять принципиально новые технологии получения полимерных композиционных материалов (ПКМ) [2].

Технологии автоматизированной выкладки препрегов (AFP и ATL) в последние два десятилетия стали революционными в производстве изделий из ПКМ для авиакосмической промышленности, а в настоящее время осваиваются и в других отраслях – энергетике [3], в частности при производстве ветряных лопастей; автомобильной промышленности и др.

**Материалы и методы**

Сложные изделия из ПКМ, которые раньше изготавливались вручную (с использованием технологии ручной выкладки), в настоящее время производятся автоматически с помощью AFP/ATL технологий, которые имеют следующие преимущества:

– высокая производительность (10–40 кг/ч);

– более высокое качество структуры композита благодаря более качественной и плотной укладке препрега;

– снижение количества отходов;

– снижение трудоемкости процесса выкладки препрега;

– сокращение продолжительности производства;

– точность и стабильность процесса выкладки заготовок;

– наличие мощных и гибких программных решений, обеспечивающих быстрое создание программ для выкладки заготовок сложных форм и укладки.

Недостатками этих технологий являются:

– высокая стоимость оборудования для автоматизированной выкладки;

– более высокая стоимость препрегов для технологий AFP/ATL, а также потребность в дополнительных расходных материалах;

– более высокие требования к квалификации персонала.

Изделия из ПКМ, произведенные с помощью AFP/ATL технологий, могут наиболее полно реализовать заложенные конструктором расчетные характеристики конечного изделия.



Рис. 1. AFP-комплексы для выкладки препрега фирм Coriolis (а) и M-Torres (б)

AFP (automatic fiber placement) – это технология сборки заготовок методом автоматизированной выкладки из нескольких узких лент препрега (шириной обычно 6,35 или 12,7 мм).

ATL (automatic tape laying) – это технология сборки заготовок методом автоматизированной выкладки из однонаправленных лент или ткани (шириной обычно 150 или 300 мм). В этих технологиях применяются материалы с термореактивными или термопластичными смолами или сухие материалы. Выбор технологии зависит от геометрической формы поверхности, а также от размеров и количества изделий, которые должны быть произведены [4].

Основными производителями на рынке оборудования для выкладки методом AFP/ATL являются фирмы MAG-Cincinnati (США), Coriolis (Франция), M-Torres (Испания), Mikrosam (Македония) (рис. 1) [5].

Для выкладки заготовок методом AFP/ATL необходимы специальные препреги (рис. 2), предварительно разрезанные на ленты и смотанные в бобины для последующей установки в питающие размоточные устройства установки для выкладки препрега.



Рис. 2. Разрезанный препрег на бобине для применения при AFP выкладке

Схема процесса их производства выглядит следующим образом: на пропиточной установке получают препрег из наполнителя в виде однонаправленной ленты или множества жгутов [6], далее препрег разрезают на специальном оборудовании на нужную ширину. В случае, если речь идет о препрегах для AFP-технологии, разрезанный на ленты препрег перематывается специальным образом на бобины.

Основными производителями на рынке оборудования для резки и перематки препрегов являются фирмы Century Design Industries (США), Robust (Германия), SANM (Германия), Mikrosam (Македония) (рис. 3) [5, 7–12].

При резке препрегов используются различные способы резки и режущий инструмент. Так, для резки препрегов на ленты шириной >10–15 мм широко используются системы с подвижными вращающимися ножами. Такой нож представляет собой пару из тарельчатого ножа и ответного контр-ножа. При этом усилии прижима и глубина захода одного ножа за другой определяются свойствами препрега, предназначенного для резки (его толщиной, липкостью, наличием утка и др.). В процессе резки валы с установленными на них ножами вращаются навстречу друг другу, обеспечивая высокую производительность процесса резки (рис. 4, а).

При резке препрегов на ширину <10 мм использование таких систем становится очень затруднительным ввиду сложности технической реализации, поэтому применяют системы с наборными неподвижными ножами (рис. 4, б), выполненными из двух элементов. Первый элемент представляет собой планку с установочными пазами, куда устанавливаются тонкие лезвия. Расстояние между пазами определяет ширину лент, на которые будет разрезаться препрег. Второй элемент представляет собой планку с углублениями, в которые опускаются лезвия первого элемента. Углубления имеют ширину немного большую, чем лезвия первого элемента [13]. В процессе

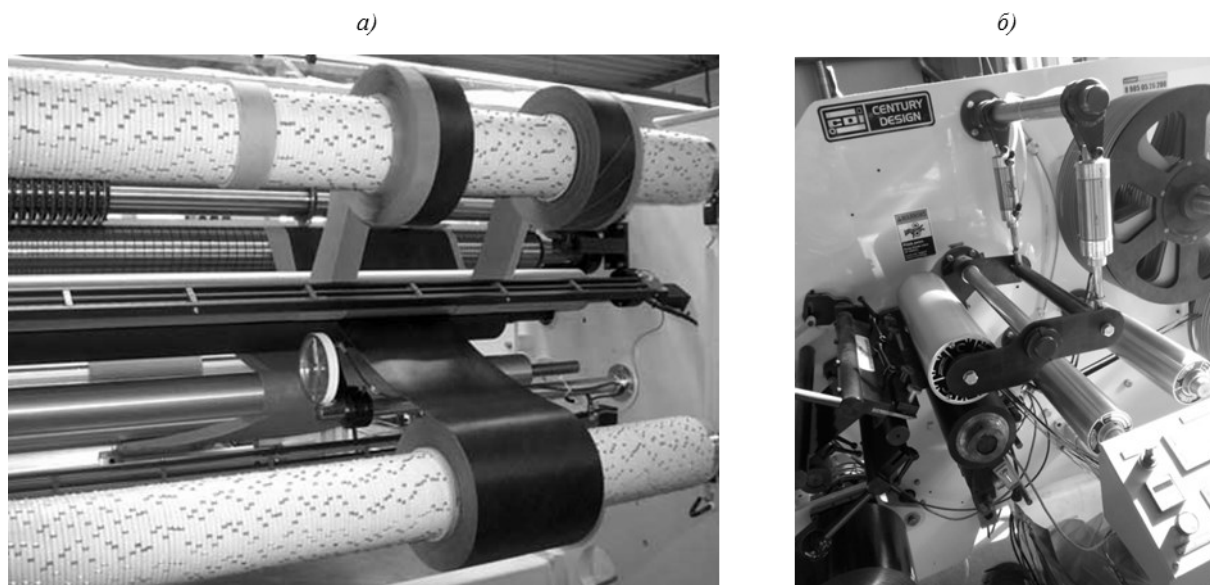


Рис. 3. Установка для резки препрегов компаний Robust (а) и CDI (б)

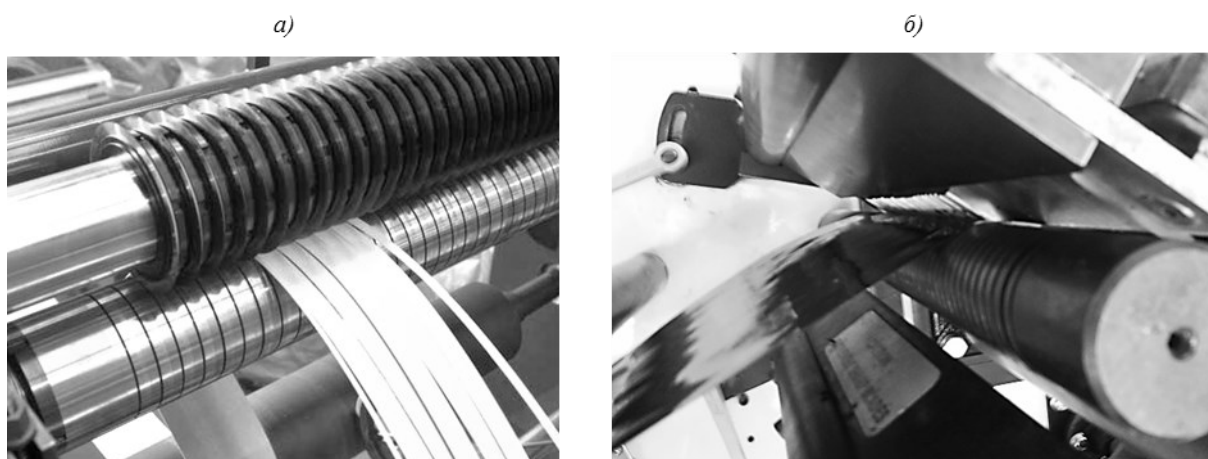


Рис. 4. Разрезка препрегов системой из двух подвижных ножей (а) и неподвижных ножей – лезвий (б)



Рис. 5. Запатентованные валы компании Robust

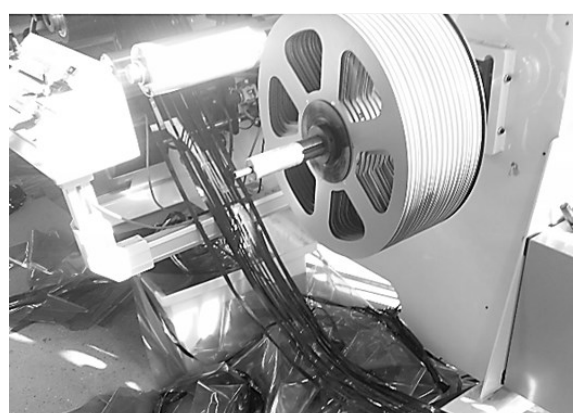


Рис. 6. Система намотки с постоянным натяжением лент препрега компании CDI



Рис. 7. Установка для перемотки разрезанного препрега компании SAHM

разрезки очень важно, чтобы разрезаемый препрег имел натяжение, так как при этом способе резки ножи неподвижны и резка происходит за счет движения препрега через лезвия. Если натяжение будет недостаточным, это может вызвать появление замятий и неровностей на лентах разрезанного препрега.

Очень важно также, чтобы намотка разрезаемого препрега велась с одинаковым натяжением на всех лентах. Если это условие не выполняется, то те ленты, которые мотаются без натяжения, будут провисать, что может привести к неравномерной намотке, зажевыванию [14] препрега в ножах, обрывам разрезаемого препрега.

Существует несколько систем намотки рулонных материалов с постоянным натяжением.

Компания Robust выпускает специальные намоточные валы с запатентованной системой намотки (рис. 5) [14]. Эти валы состоят из множества колец, каждое из которых имеет скользящую муфту. Валы имеют пневмоэлемент, в который подается сжатый воздух. В зависимости от того, какое давление подано на пневмоэлемент, меняется усилие проскальзывания каждой муфты [15]. При разрезке обычно используют систему из двух вращающихся синхронно валов со скользящими муфтами. Таким образом, рулон препрега разрезается на ленты, которые наматываются на гильзы, установленные на два таких вала в шахматном порядке, с постоянным натяжением. Эта система хорошо работает при ширине разрезки  $>10$ – $15$  мм.

Если же требуется нарезать препрег на ширину  $<10$  мм, то используют системы со специальными кассетами, каждая из которых имеет ограничительные приспособления в виде «щек», которые не дают рулону с разрезаемым препрегом деформироваться и не допускают сваливания разрезанного препрега с рулона [16]. Такую систему использует компания CDI (рис. 6). Кассеты за-

крепляются на два синхронно вращающихся вала также в шахматном порядке, только крутящий момент от валов на них передают специальные вставки. Специальное устройство поджимает вставки к поверхности кассет и усилием прижатия регулируется усилие проскальзывания кассеты.

Далее в том случае, когда перемотка не требуется, рулоны с разрезанным препрегом можно использовать для автоматизированной выкладки. В том же случае, когда необходимо провести перемотку препрега на бобину, используют специальное оборудование для перемотки.

Такая установка имеет размоточный узел для подачи разрезанного препрега, систему отбора оставшейся подложки, систему подачи другой, более широкой подложки, лентотракты с системой преднатяжения и систему намотки «змейкой» на бобину [16]. Использование новой подложки в виде пленки обязательно, так как она не дает соседним слоям препрега слипаться друг с другом при намотке на бобину (рис. 7) [17, 18].

#### Обсуждение и заключения

Какой бы процесс не был выбран, очень важными факторами для переработки препрега являются характеристики липкости (адгезия к подложкам), сплошности (не должно быть пустот, щелей и др. несплошностей в полотне препрега [19]), качества пропитки препрега (не должно быть непропитанных связующим филаментов), минимальное количество стыков на длине разрезаемого препрега. Весьма важной характеристикой, предъявляемой к таким препрегам, является также его жизнеспособность [20, 21], так как от момента изготовления до непосредственно выкладки препрега проходит значительное время, необходимое на операции разрезки, перемотки, упаковки, транспортировки и др. [22].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Каблов Е.Н. Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» // *Авиационные материалы и технологии*. 2015. №1 (34). С. 3–33.
2. Препрег и изделие, выполненное из него: пат. №2427594 Рос. Федерация; опубл. 21.12.09.
3. Способ получения изделия из композиционного материала: пат. №2448808 Рос. Федерация; опубл. 05.10.10.
4. Гращенков Д.В., Чурсова Л.В. Стратегия развития композиционных и функциональных материалов // *Авиационные материалы и технологии*. 2012. №S. С. 231–242.
5. Century Design, Inc: офиц. сайт. URL: <http://www.centurydesign.com/> (дата обращения: 01.08.2015).
6. Донецкий К.И., Коган Д.И., Хрульков А.В. Использование технологий плетения при производстве элементов конструкций из ПКМ // *Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн.* 2013. №10. Ст. 04. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 01.08.2015).
7. Mikrosam: офиц. сайт. URL: <http://www.mikrosam.com> (дата обращения: 01.08.2015).
8. MTorres: офиц. сайт. URL: <http://www.mtorres.com> (дата обращения: 01.08.2015).
9. Robust: офиц. сайт. URL: <http://www.robust.de> (дата обращения: 01.08.2015).
10. Century Design Ind.: офиц. сайт. URL: <http://www.centurydesignindustries.com> (дата обращения: 01.08.2015).
11. Georg Sahm GmbH: офиц. сайт. URL: <http://www.sahm.de> (дата обращения: 01.08.2015).
12. Coriolis: офиц. сайт. URL: <http://www.coriolis.com> (дата обращения: 01.08.2015).
13. Постнов В.И., Сатдинов А.И., Стрельников С.В., Антонов А.И., Вешкин Е.А. Влияние технологической подготовки производства на качество изделий из ПКМ // *Авиационные материалы и технологии*. 2009. №3. С. 3–6.
14. Мухаметов Р.Р., Ахмадиева К.Р., Чурсова Л.В., Коган Д.И. Новые полимерные связующие для перспективных методов изготовления конструкционных волокнистых ПКМ // *Авиационные материалы и технологии*. 2011. №2. С. 38–42.
15. McClain M., Goering J. Overview of Recent Developments in 3D Structures // *ICCM 17. 3D Textiles & Composites*. Edinburgh. 2009.
16. Михайлин Ю.А. Конструкционные полимерные композиционные материалы. СПб.: Научные основы и технологии, 2008. 822 с.
17. Zwehen C. Assessment of the Science Base for Composite Materials // *Advanced Materials by Design*. 2011. V. 3. P. 73–93.
18. Мухаметов Р.Р., Ахмадиева К.Р., Ким М.А., Бабин А.Н. Расплавные связующие для перспективных методов изготовления ПКМ нового поколения // *Авиационные материалы и технологии*. 2012. №S. С. 260–265.
19. Тимошков П.Н., Коган Д.И. Современные технологии производства полимерных композиционных материалов нового поколения // *Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн.* 2013. №4. Ст. 07. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 01.08.2015).
20. Crossley R.J., Schubel P.J., Warrior N.A. The experimental characterisation and investigate on of prepreg tack // *Proceedings of ICCM-18*. Edinburgh. 2009. P. 1–11.
21. Seferis J.C., Meissonnier J. Development of a tack and drape test for prepregs based on viscoelastic principles // *Sampe Quarterly-Soc. Adv. Mater. Process. Eng.* 1989. V. 20(3). P. 55–64.
22. Ahn K.J., Seferis J.C., Pelton T., Wilhelm M. Analysis and characterization of prepreg tack // *Polym. Compos.* 1992. V. 13 (3). P. 197–206.