



УДК 678.8

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ПЛЕТЕНИЯ ПРИ
ПРОИЗВОДСТВЕ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ПКМ**

К.И. Донецкий
кандидат технических наук

Д.И. Коган
кандидат технических наук

А.В. Хрульков

Октябрь 2013

Всероссийский институт авиационных материалов (ФГУП «ВИАМ» ГНЦ) – крупнейшее российское государственное материаловедческое предприятие, на протяжении 80 лет разрабатывающее и производящее материалы, определяющие облик современной авиационно-космической техники. 1700 сотрудников ВИАМ трудятся в более чем тридцати научно-исследовательских лабораториях, отделах, производственных цехах и испытательном центре, а также в четырех филиалах института. ВИАМ выполняет заказы на разработку и поставку металлических и неметаллических материалов, покрытий, технологических процессов и оборудования, методов защиты от коррозии, а также средств контроля исходных продуктов, полуфабрикатов и изделий на их основе. Работы ведутся как по государственным программам РФ, так и по заказам ведущих предприятий авиационно-космического комплекса России и мира.

В 1994 г. ВИАМ присвоен статус Государственного научного центра РФ, многократно затем им подтвержденный.

За разработку и создание материалов для авиационно-космической и других видов специальной техники 233 сотрудникам ВИАМ присуждены звания лауреатов различных государственных премий. Изобретения ВИАМ отмечены наградами на выставках и международных салонах в Женеве и Брюсселе. ВИАМ награжден 4 золотыми, 9 серебряными и 3 бронзовыми медалями, получено 15 дипломов.

Возглавляет институт лауреат государственных премий СССР и РФ, академик РАН, профессор Е.Н. Каблов.

Статья подготовлена для опубликования в журнале «Труды ВИАМ»,
№10, 2013 г.

УДК 678.8

К.И. Донецкий, Д.И. Коган, А.В. Хрульков

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ПЛЕТЕНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ПКМ

В настоящее время применение технологии изготовления ПКМ с использованием плетеных преформ освоено рядом зарубежных компаний и находит применение как в аэрокосмической, так и гражданской промышленности. Такие ПКМ характеризуются значительным сопротивлением расслаиванию и удару, высокими усталостными показателями, высокой прочностью вблизи отверстий. Использование плетеных преформ позволяет упростить проблему соединений в сборных конструкциях, обеспечить возможность автоматизации производства, обеспечить высокую скорость и экономичность процесса изготовления ПКМ.

Ключевые слова: *плетеные преформы, полимерные композиционные материалы, безавтоклавные методы формования.*

K.I. Donetskiy, D.I. Kogan, A.V. Hrulkov

THE USE OF TECHNOLOGY OF BRAIDING IN PRODUCTION OF STRUCTURAL ELEMENTS OF POLYMER COMPOSITES MATERIALS

Currently, the use of technology of polymer composites materials using braided preforms, mastered a number of foreign companies, and has applications in both aerospace engineering, and in a number of civilian industries. These are characterized by materials considerable resistance to delamination and impact, high fatigue performance, high strength near the holes. The use of braided preforms can simplify the problem compounds in prefabricated structures allow for the automation of production, provide high speed and efficiency of the manufacturing process the polymer composites materials.

Key words: *braided preforms, polymer composites materials, non-autoclave molding methods.*

Оценка развития аэрокосмической промышленности и анализ современного рынка полимерных композиционных материалов (ПКМ) свидетельствуют о необходимости создания новых высокотехнологичных материалов, свойства которых определяются не

только особенностями конструкции изделия и технологией его изготовления, но и необходимостью обеспечения ряда специфических параметров, таких как точное соответствие производимого изделия заданной внешней форме, устойчивость к деформационным разнонаправленным нагрузкам, изотропность или, наоборот, при необходимости градиентность свойств, снижение массы конструкций при сохранении высоких эксплуатационных свойств [1, 2]. Задача сокращения трудоемкости технологических процессов, их автоматизации и роботизации, несмотря на специфику отрасли, также является актуальной и требующей внимания при разработке новых материалов и схем производства.

Одним из путей решения данной задачи является применение при производстве новых ПКМ технологии пропитки связующим собранных в пакет предварительно созданных заготовок – преформ из сухих армирующих волокон, расположение нитей которых выполнено на основе предварительных расчетов заданных свойств путем математического моделирования [3].

Плетеные преформы представляют собой полуфабрикат в виде «мягкого рукава», ткани или многослойной оплетки оправки при необходимости переменного диаметра. Материал для изготовления такой преформы может быть любым: высокопрочное углеродное волокно, стекловолокно, волокно природного происхождения, например льняное.

Использование стандартных технологий изготовления конструкций сложного профиля является непростой задачей по причине сложности раскроя заготовок препрегов (в случае применения препреговой технологии) и необходимости применения ручной выкладки в зонах сложных переходов. Использование же текстильных преформ (в данной статье в первую очередь пойдет речь о преформах, выполненных методом плетения), которые характеризуются высокой подвижностью нитей и способны создавать криволинейные поверхности сложной формы (рис. 1), позволяет решать эту задачу значительно проще, обеспечивая возможность автоматизации процесса [4].

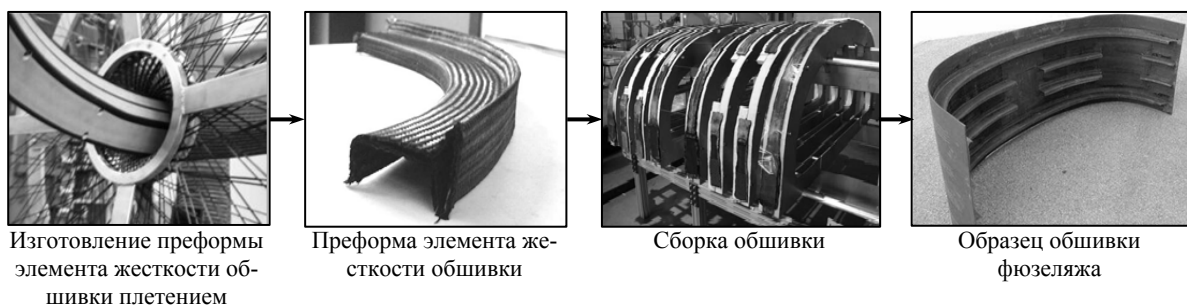


Рисунок 1. Изготовление образца обшивки самолета из ПКМ на основе плетеных преформ (EADS Deutschland Corporate Research Centre)

Использование плетеных преформ при производстве ПКМ делает возможным изготовление материалов разнообразных геометрических форм и размеров, и за одну операцию получать изделие с заданными параметрами (длина, ширина, толщина). Получаемые материалы обладают такими физико-механическими характеристиками, как значительное сопротивление расслаиванию, повышенное сопротивление повреждению, улучшенное сопротивление удару, высокие усталостные показатели, значительная прочность вблизи отверстий и крепежных элементов. Кроме того, использование плетеных преформ позволяет упростить проблему соединений в сборных конструкциях, так как прочность традиционных соединений значительно уступает прочности самой конструкции. Для этого способа изготовления ПКМ характерны сокращение цикла изготовления сложнопрофильных деталей, снижение производственных расходов благодаря механизации процесса и уменьшению доли ручного труда, возможность применения в серийном производстве [5–8].

Область применения плетеных преформ уже достаточно широка, все большее количество зарубежных компаний осваивают этот процесс и внедряют его в собственное производство. Наиболее традиционными и характерными областями применения таких материалов являются как аэрокосмическое и оборонное машиностроение, так и ряд гражданских отраслей промышленности.

Основные потребители плетеных преформ за рубежом – лидеры авиастроения, такие как General Electric Aircraft Engines, Snecma, Boeing (рис. 2), Airbus.

Данная технология используется при производстве элементов мотогондолы авиадвигателя и его вентиляторных лопаток (рис. 3), стрингеров, лонжеронов, шпангоутов, лопастей винтов, различных корпусных элементов и многого другого. В ракетостроении освоено производство корпусов ракет (рис. 4), в машиностроении – опорные элементы крыши и бамперов, колесные диски (фирмы BMW и Mercedes), топливные баки и баллоны высокого давления. В разработке находятся технологии

производства автомобильных рам и прицепов, в строительстве перспективно использование плетеных преформ в конструкциях мостов, опор линий электропередач и освещения.

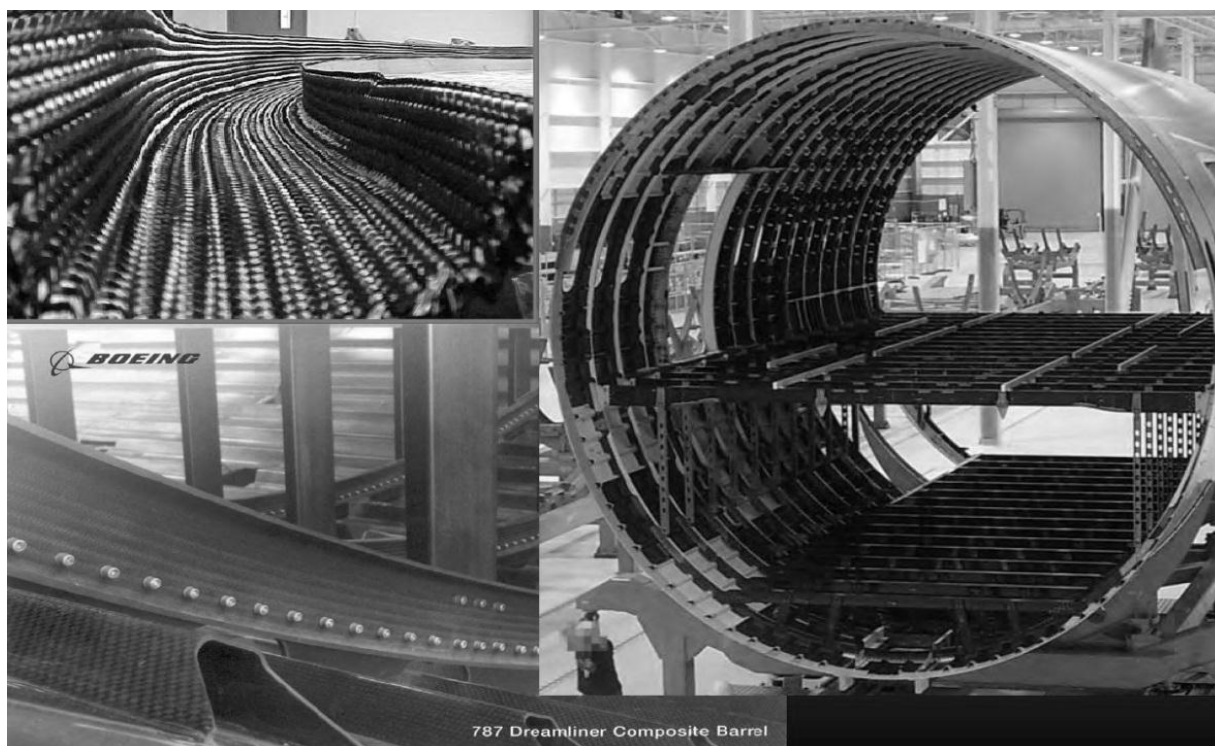


Рисунок 2. Применение плетеных преформ при изготовлении элементов фюзеляжа Boeing 787 Dreamliner (компания A&P Technology)

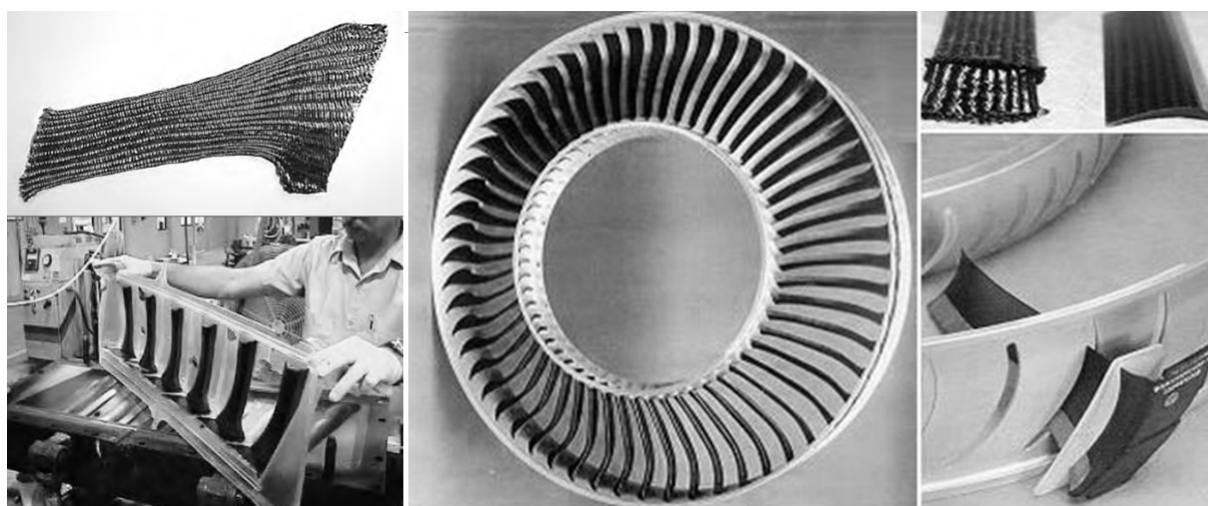


Рисунок 3. Применение плетеных преформ при изготовлении вентиляторных лопаток авиадвигателя (компания A&P Technology)

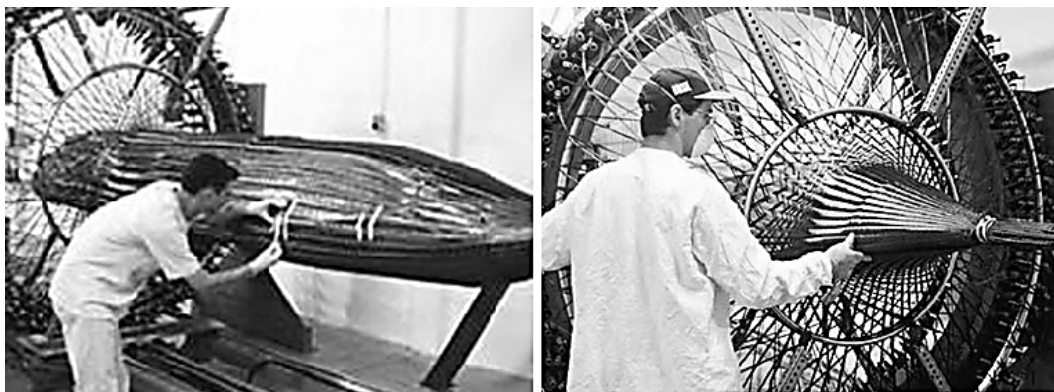


Рисунок 4. Применение плетеных преформ при изготовлении фюзеляжа ракет (компания Fiber Innovations)

К сожалению, в отечественном производстве – ввиду отсутствия парка необходимого современного оборудования – широкого развития эти технологии до настоящего времени не получили. В 60–70-х годах прошлого столетия в СССР были разработаны и освоены технологии RTM, в которых использовался сухой текстильный многослойный наполнитель с последующей пропиткой полимерным связующим и дальнейшим отверждением [9]. В последние годы в РФ изготовлен ряд лабораторных образцов на основе плетеных и тканых преформ, таких как лопатка авиадвигателя, рама иллюминатора, но в серийное производство эти изделия пока так и не внедрены [10–12].

На данный момент технология изготовления установок получения плетеных преформ и технология производства самих преформ уже значительно развиты и освоены такими компаниями, как Herzog (Германия), 3TEX Inc. (США), A&P Technology (США) [13] и рядом других.

На рис. 5 показан сам принцип изготовления плетеных преформ. Оборудование позволяет выпускать как преформы в виде рукава, так и преформы в виде ленты (ткани), замыкая или размыкая линию движения веретен. Отдельно расположенная вытяжная машина с установленной скоростью наматывает на приемный барабан готовую продукцию. Изготовление же объемной оплетки и многослойных преформ несколько отличается. В данном случае дополнительно требуется устройство, позволяющее многократно проводить оплетаемую оснастку через плетельную машину. Обычно для этого используется программируемый робот, но встречаются и иные технологические решения.

Для получения этим способом высококачественных изделий из ПКМ необходимо учитывать ряд важных факторов при изготовлении плетеных преформ как многослойных, так и однослойных (рис. 6), а именно: скорость вытяжки преформы

вытяжной машиной и влияние переменного диаметра оплетаемой оправки. В случае изготовления однослойной плетеной преформы (рукава или ленты) скорость вытяжки напрямую влияет на угол армирования. В случае изготовления многослойной преформы очень важно заранее так запрограммировать скорость вытяжки готовой преформы (она может быть и нелинейной в зоне изменения толщины), чтобы выдержать оптимальный угол по всей длине оснастки с учетом ее разнотолщинности. Наглядно видно, как влияет изменение диаметра оправки и скорость вытяжки на угол укладки нитей. В ряде случаев это может привести к неоднородности физико-механических свойств готового изделия.

Варианты формирования заготовок из преформ могут быть самыми разнообразными (рис. 7). Как уже говорилось ранее, плетеные преформы обладают высокой подвижностью нитей и способны создавать криволинейные поверхности сложной формы путем легкой деформации в необходимый потребителю профиль, такой как швеллер, J-образный профиль, T- и Z-образный или иной другой. В преформу-рукав можно вставить необходимую оправку и затем изготовить необходимую деталь методами RFI, RTM или VaRTM [14, 15].

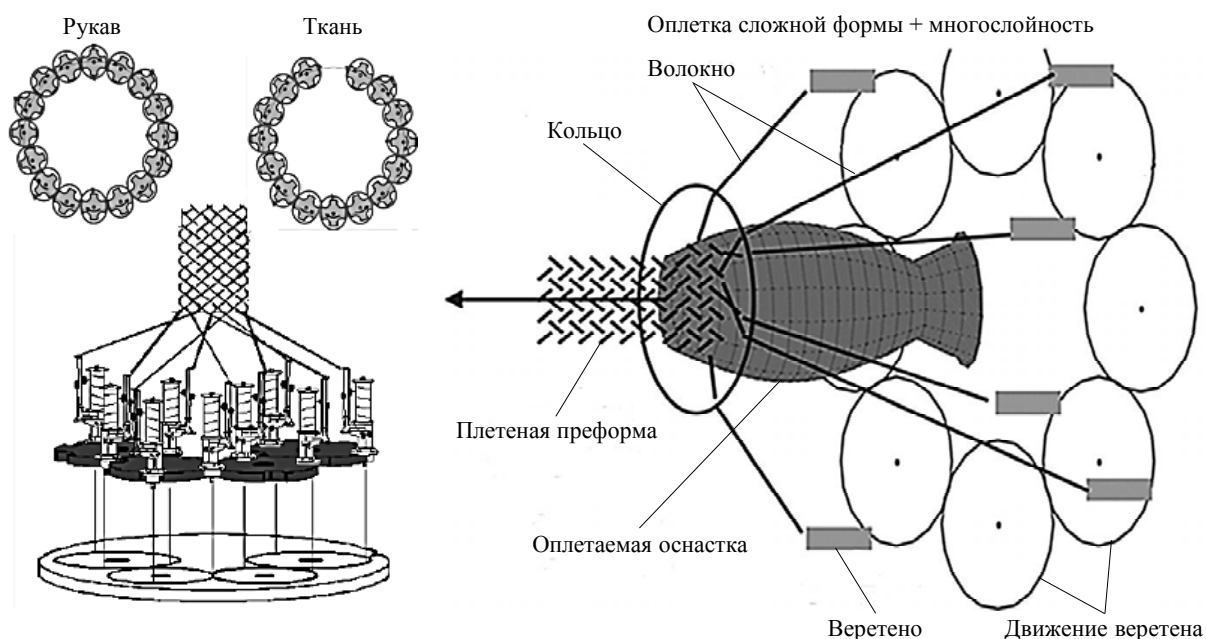


Рисунок 5. Схема получения плетеных преформ как в виде рукава (ленты), так и объемной или многослойной оплетки с использованием специализированной оснастки (Herzog Maschinenfabrik; Niederrhein University of Applied Sciences, Mönchengladbach, Dept. of Textile and Clothing Technology)

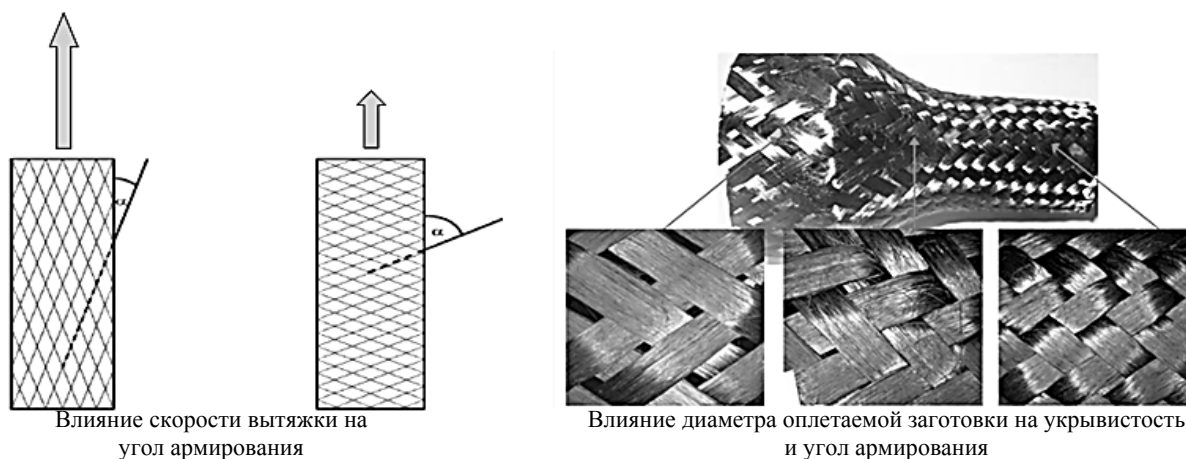


Рисунок 6. Влияние технологических параметров изготовления плетеной преформы на угол армирования и укрывистость (Niederrhein University of Applied Sciences, Mönchengladbach, Dept. of Textile and Clothing Technology)

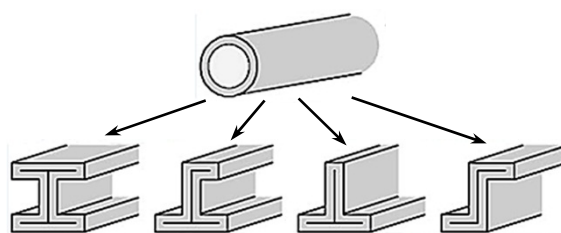


Рисунок 7. Варианты формирования конструктивных элементов из плетеной преформы-рукава ((Niederrhein University of Applied Sciences, Mönchengladbach, Dept. of Textile and Clothing Technology)

Таким образом, технология плетения позволяет получать за одну операцию преформы для изделий с заданными параметрами (длина, ширина, толщина); изготавливать материалы с разнообразными геометрическими формами и стабильностью размеров; производить плетеные преформы или ткани практически неограниченной длины из разнообразного волокна, с заданным углом армирования и возможностью укладки нити в «нулевом» направлении и многое другое. Развитие и применение данных решений в высокотехнологичных отраслях российской промышленности позволит придать дополнительный импульс в изготовлении новых образцов техники как аэрокосмической, так и гражданских отраслей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каблов Е.Н. Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 7–17.
2. Гращенко Д.В., Чурсова Л.В. Стратегия развития композиционных и функциональных материалов //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 231–242.
3. Михайлин Ю.А. Конструкционные полимерные композиционные материалы. СПб.: Научные основы и технологии. 2008. 822 с.
4. Донецкий К.И., Хрульков А.В., Коган Д.И., Белинис П.Г., Лукьяненко Ю.В. Применение объемно-армирующих преформ при изготовлении изделий из ПКМ //Авиационные материалы и технологии. 2013. №1. С. 35–39.
5. Guoquan Tao, Zhen Guo Liu, Ming Yun Lv, Si Si Chen. Research on Manufacture and Test of Advanced Composite Material Flange //The Open Mechanical Engineering Journal. 2011. №5. P. 87–96.
6. Michael McClain, Jonathan Goering. Overview of Recent Developments in 3D Structures /In: ICCM 17, 3D Textiles & Composites, 27–31 July 2009, Edinburgh, UK. (электронная версия).
7. Hufenbach W., Gude M., Blazejewski W., Czulak A., Borkowski A. Manufacturing and pressure test using infrared camera of carbon fibre reinforced braided composite vessels //Diagnostyka Materialów Polimerowych. 2011. №6. P. 448–453
8. Blazejewski W., Czulak A., Gasior P., Pawlak T., Hufenbach W. Pressure tests of composite braided tube specimens //Polish Society for Composite Materials – Composites. 2009. V. 9. №3. P. 291–296.
9. Душин М.И., Розе А.В., Жигун И.Г. Трехмерно-армированные тканые материалы //Механика полимеров. 1970. М3.
10. Композитная лопатка вентилятора с многослойным армирующим материалом: пат. 2384749 Рос. Федерация; опубл. 20.03.2010. Бюл. №8.
11. Лаврис Е.В. Цельнотканые оболочки с триаксиальной структурой: текстильные изделия нового поколения //Текстильная промышленность. 2008. №11–12. (электронная версия).
12. Getmantseva V.V., Lavris E.V., Petrosova I.A. Trends of design technologies for innovative textile goods production //Fiberfashion: World internet journal of textile and apparel production. 2011. (электронная версия).

13. Лаврис Е.В. Совершенствование плетельного оборудования для производства текстильных деталей сложных форм //Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2011. № 70. (электронная версия).
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. Душин М.И., Хрульков А.В., Мухаметов Р.Р., Чурсова Л.В. Особенности изготовления изделий из ПКМ методом пропитки под давлением //Авиационные материалы и технологии. 2012. №1. С.18–26.