



УДК 624.6.012.2

DOI: 10.18577/2307-6046-2015-0-1-7-7

## **СТРОИТЕЛЬСТВО БЕТОННО-КОМПОЗИТНЫХ МОСТОВ**

И.А. Коротков

А.В. Борщев

Р.Ю. Караваев

Ф.С. Власенко

**Январь 2015**

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.

*И.А. Коротков<sup>1</sup>, А.В. Борщев<sup>1</sup>, Р.Ю. Караваев<sup>1</sup>, Ф.С. Власенко<sup>1</sup>*

## **СТРОИТЕЛЬСТВО БЕТОННО-КОМПОЗИТНЫХ МОСТОВ**

*При возведении железобетонных и металлических мостов одними из главных недостатков являются низкая скорость и высокая стоимость строительства. Возможным вариантом решения данных проблем является применение композиционных материалов. В работе рассматривается возможность применения плетеных преформ при строительстве мостов и проводится сравнение скорости и стоимости строительства с железобетонными и металлическими мостами.*

**Ключевые слова:** *композиционные материалы, плетение, инфузия, строительство мостов.*

*I.A. Korotkov, A.V. Borschev, R.Y. Karavaev, F.S. Vlasenko*

## **CONSTRUCTION OF CONCRETE-COMPOSITE BRIDGES**

*One of the main disadvantages of ferroconcrete and metal bridges construction, are low speed and high cost. A possible way to solve these problems is a usage of composite materials. A possibility of application of braided preforms during a construction of bridges and comparison of the speed and cost of construction with ferroconcrete and metal bridges is considered in this article*

**Keywords:** *composite materials, weaving, infusion, bridge construction.*

---

<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**

В мировой промышленности все более широко внедряются полимерные композиционные материалы (ПКМ), расширяются области и объемы их применения. Такие материалы позволяют изготавливать детали с гарантированным уровнем прочностных свойств при существенном снижении массы, придавать деталям необходимые физические и химические характеристики в зависимости от реальных условий эксплуатации, обеспечивать повышение надежности и долговечности машин по сравнению с традиционными конструкциями. Изделия из ПКМ весьма технологичны: для их изготовления требуется минимальный объем механической обработки, существенно меньшая,

чем обычно, трудоемкость сборки, простые методы и средства коррозионной защиты и т. д. [1–4].

В настоящее время ПКМ – стекло-, угле- и органопластики – благодаря своим уникальным свойствам нашли применение в различных видах отраслевой промышленности. Существует большое количество методов получения изделий из ПКМ, одним из которых является инфузия плетеных заготовок [5, 6].

Инфузия – метод получения изделий из ПКМ методом пропитки под давлением. Подача связующего в форму происходит не за счет избыточного давления, а за счет атмосферного. Применение данной технологии позволяет сократить продолжительность формования на 20–30% по сравнению с RTM-технологией [7].

При пропитке с помощью инфузии плетеных заготовок возможно получение изделий с высокими прочностными характеристиками, что позволяет использовать их в авиационной, транспортной, военной и других отраслях промышленности.

Основными преимуществами такой технологии являются:

- экономичность – небольшие затраты на организацию производства, отсутствие сложного технологического оборудования, гораздо меньший расход связующего, чем при использовании контактного формования;

- экологичность – система закрытая, поэтому снижается выброс мономеров и других летучих веществ в воздушное пространство рабочей зоны;

- формирование сэндвич-структуры (из наполнителя и вспомогательных материалов) изделия производится до пропитки связующим, что дает возможность изменения состава наполнителя и более тщательной выкладки;

- в процессе инфузии воздух удаляется из изделия практически полностью с помощью вакуумного насоса, что хорошо сказывается на прочности изделия.

Производство конструкций сложного профиля с помощью стандартных технологий становится проблематичным из-за сложности раскроя препрегов и необходимости применения ручной выкладки в зонах сложных переходов. Одним из решений данной проблемы является использование плетеных преформ, которые характеризуются высокой подвижностью нитей и способны создавать криволинейные поверхности сложной формы.

Применение плетеных преформ имеет такие преимущества, как сокращение цикла производства сложных деталей, снижение стоимости за счет увеличения доли автоматизации процесса, возможность использования в серийном производстве. Технология позволяет за один цикл получать готовое изделие без применения каких-либо дополни-

тельных операций [8]. Например, применение объемно-армирующих преформ, выполненных плетением, в производстве трубчатых конструкций позволяет заменить операцию намотки, что в свою очередь приведет к уменьшению трудоемкости производства (рис. 1).

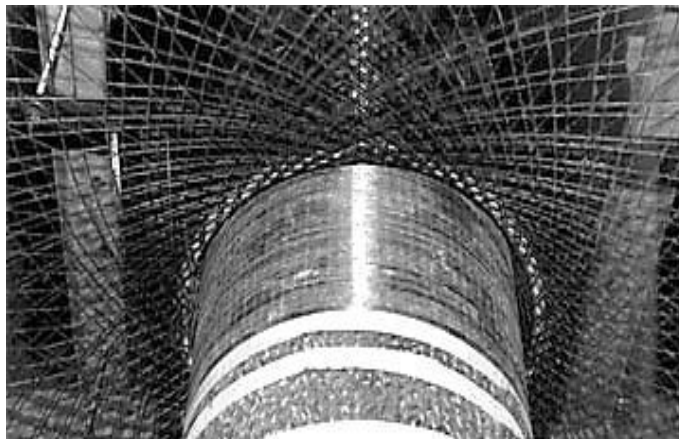


Рисунок 1. Заготовка трубчатой конструкции, изготавливаемая методом плетения фирмой General Electric Aircraft Engines (GEAE)

Область применения изделий на основе плетеных преформ уже достаточно широка, и все большее количество компаний применяют этот процесс и внедряют его в собственное производство. Наиболее традиционными и характерными областями применения изделий на основе плетеных преформ являются авиационная, военная и транспортная промышленности [9, 10].

Использование плетеных преформ позволяет создавать бетонно-композитные мосты, которые представляют собой быстровозводимые конструкции с заливкой бетона в несъемную опалубку на основе плетеных преформ, полученную на месте строительства, и обладают высокими эксплуатационными характеристиками [11].

Гибридно-композитная система строительства мостов обеспечивает долговечность и функциональные преимущества в сравнении с железобетонными и стальными конструкциями [12, 13].

Сравнение строительства и последующей эксплуатации мостов различной конструкции за жизненный цикл (20 лет) показано на рис. 2.



Рисунок 2. Сравнение строительства и эксплуатации мостов различной конструкции ООО УК «Новый проект» по статьям расходов за 20 лет:

■ – экономия средств; □ – эксплуатация; ■ – строительство; ■ – комплектация

Преимуществами такой технологии по сравнению с обычным строительством являются [14–16]:

- малые сроки строительства – весь цикл строительства составляет 6–12 дней;
- более низкая стоимость по сравнению с аналогичным железобетонным или металлическим мостом (экономия составляет 20–30%);
- минимальные эксплуатационные затраты, связанные с отсутствием металла и, как следствие, с отсутствием коррозии и необходимости в текущем ремонте;
- длительный срок эксплуатации моста – применяемые материалы обеспечивают более чем 100-летний срок службы без реконструкции;
- конструкция моста состоит из легких элементов, не требующих применения специальной техники при монтаже;
- более высокая коррозионная стойкость и экологическая безопасность сооружения.

Предлагаемая технология позволяет возводить автомобильные и железнодорожные мосты с различными характеристиками, отвечающие всем необходимым эксплуатационным требованиям.

Возведение конструкции моста включает в себя:

- легковесные надувные арочные трубы, усиленные стеклопластиком, которые можно быстро устанавливать вручную или с применением легкой техники;
- гофрированные листы железа;
- армированный бетон для формирования фундамента мостовой конструкции.

Последовательность строительства бетонно-композитного арочного моста включает в себя следующие этапы (рис. 3):

- демонтаж существующего металлического моста;
- бурение грунта, подготовка и формирование основания;
- установка арок;
- заливка оснований бетоном;
- установка на арки композиционного покрытия (гофрированные листы);
- заполнение арок бетоном в течение 1 ч;
- заливка композиционного покрытия бетоном;
- установка композиционных торцевых стен;
- заполнение моста ранее вынутым грунтом;
- выравнивание и очистка участка, укладка дорожного покрытия.



Рисунок 3. Этапы строительства бетонно-композитного моста  
фирмой Advanced Infrastructure Technologies Inc.

## Заключение

Таким образом, процесс строительства бетонно-композитного моста позволяет сократить сроки строительства, повысить коррозионную стойкость мостового сооружения к действию окружающей среды, что увеличивает срок его службы, а также минимизировать потребность в текущем ремонте и, как следствие, затраты на эксплуатацию, повысить экологическую безопасность сооружения.

Сооружение бетонно-композитного моста позволит сэкономить за весь жизненный цикл его эксплуатации ~1 млн рублей при замене железобетонного моста или ~17 млн рублей – при замене стального моста.

## 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. Гуняев Г.М., Гофин М.Я. Углерод-углеродные композиционные материалы //Авиационные материалы и технологии. 2013. №51. С. 62–90.
3. Гращенко Д.В., Чурсова Л.В. Стратегия развития композиционных и функциональных материалов //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 231–242.
4. Каблов Е.Н., Старцев О.В., Кротов А.С., Кириллов В.Н. Климатическое старение композиционных материалов авиационного назначения. I. Механизмы старения //Деформация и разрушение материалов. 2010. №11. С. 19–27.
5. Слоистый композиционный материал и изделие, выполненное из него: пат. 2185964 Рос. Федерация; опубл. 19.01.2001.
6. Ерасов В.С., Макарычева А.И. Определение модуля упругости межфазной зоны в слоистом полимерном композиционном материале //Авиационные материалы и технологии. 2014. №2. С. 53–55.
7. Малинин Н.Н. Механика конструкций из композиционных материалов. М.: Машиностроение. 1988. 272 с.
8. Эпоксидная композиция: пат. 2447104 Рос. Федерация; опубл. 05.10.2010.
9. 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.
10. Способ получения композиционного материала: пат. 2246379 Рос. Федерация; опубл. 25.02.2004.

11. Борщев А.В., Хрульков А.В., Халтурина Д.С. Изготовление низкопористого полимерного композиционного материала для применения в слабо- и средненагруженных конструкциях //Труды ВИАМ. 2014. №7. Ст. 03 (viam-works.ru).
12. Гростянская Е.Б. Пластики конструкционного назначения. М.: Химия. 1974. 303 с.
13. Белозеров Л.Г., Киреев В.А. Композитные оболочки при силовых и тепловых воздействиях. М.: Физматлит. 2003. 388 с.
14. Васильев В.В. Композиционные материалы: Справочник. М.: Машиностроение. 1990. 512 с.
15. Немировский Ю.В., Резников Б.С. Прочность элементов конструкций из композитных материалов. Новосибирск: Наука. 1986. 166 с.
16. Григорьев М.М., Хрульков А.В., Гуревич Я.М., Панина Н.Н. Изготовление стеклопластиковых обшивок методом вакуумной инфузии с использованием эпоксидно-ангидридного связующего и полупроницаемой мембраны //Труды ВИАМ. 2014. №2. Ст. 04 (viam-works.ru).

#### REFERENCES LIST

1. Kablov E.N. Strategicheskie napravlenija razvitija materialov i tehnologij ih pererabotki na period do 2030 goda [Strategic directions of development of materials and processing technologies for the period up to 2030] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №S. S. 7–17.
2. Gunjaev G.M., Gofin M.Ja. Uglerod-uglerodnye kompozicionnye materialy [Carbon-carbon composite materials] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2013. №S1. S. 62–90.
3. Grashhenkov D.V., Chursova L.V. Strategija razvitija kompozicionnyh i funkcional'nyh materialov [The development strategy of composite and functional materials] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №S. S. 231–242.
4. Kablov E.N., Starcev O.V., Krotov A.S., Kirillov V.N. Klimaticheskoe starenie kompozicionnyh materialov aviacionnogo naznachenija. I. Mehanizmy starenija [Climatic aging of composite materials aviation applications. I. Mechanisms of aging] //Deformacija i razrushenie materialov. 2010. №11. S. 19–27.
5. Sloistyj kompozicionnyj material i izdelie, vypolnennoe iz nego [Layered composite material and article made from it]: pat. 2185964 Ros. Federacija; opubl. 19.01.2001.
6. Erasov V.S., Makarycheva A.I. Opredelenie modulja uprugosti mezhfaznoj zony v sloistom polimernom kompozicionnom materiale [Determination of modulus of elasticity-

- ty in the laminate interfacial area polymer composite] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2014. №2. S. 53–55.
7. Malinin N.N. Mehanika konstrukcij iz kompozicionnyh materialov [Mechanics of composite structures]. M.: Mashinostroenie. 1988. 272 s.
  8. Jepoksidnaja kompozicija [Epoxy composition]: pat. 2447104 Ros. Federacija; opubl. 05.10.2010.
  9. Dushin M.I., Hrul'kov A.V., Muhametov R.R., Chursova L.V. Osobennosti izgotovlenija izdelij iz PKM metodom propitki pod davleniem [Especially the manufacture of PCM by pressure impregnation] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №1. S. 18–26.
  10. Sposob poluchenija kompozicionnogo materiala [A method of producing a composite material]: pat. 2246379 Ros. Federacija; opubl. 25.02.2004.
  11. Borshhev A.V., Hrul'kov A.V., Halturina D.S. Izgotovlenie nizkoporistogo polimernogo kompozicionnogo materiala dlja primeneniya v slabo- i srednenagruzhennyh konstrukcijah [Production of low porosity of the polymer composite material for use in low- and moderate constructions] //Trudy VIAM. 2014. №7. St. 03 (viam-works.ru).
  12. Trostjanskaja E.B. Plastiki konstrukcionnogo naznachenija [Plastic construction purposes]. M.: Himija. 1974. 303 s.
  13. Belozеров L.G., Kireev V.A. Kompozitnye obolochki pri silovyh i teplovyh vozdeystvijah [Composite shell with power and thermal effects]. M.: Fizmatlit. 2003. 388 s.
  14. Vasil'ev V.V. Kompozicionnye materialy [Composite materials]: Spravochnik. M.: Mashinostroenie. 1990. 512 s.
  15. Nemirovskij Ju.V., Reznikov B.S. Prochnost' jelementov konstrukcij iz kompozitnyh materialov [Strength of structural elements made of composite materials]. Novosibirsk: Nauka. 1986. 166 s.
  16. Grigor'ev M.M., Hrul'kov A.V., Gurevich Ja.M., Panina N.N. Izgotovlenie stekloplastikovyh obshivok metodom vakuumnoj infuzii s ispol'zovaniem jepoksiangidridnogo svjazujushhego i polupronicaemoj membrany [Manufacture of fiberglass skins by vacuum infusion using epoksiangidridnogo binder and a semipermeable membrane] //Trudy VIAM. 2014. №2. St. 04 (viam-works.ru).