

Экспериментальные исследования

АНАЛИЗ НАПРАВЛЕНИЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАНОКОМПОЗИТНОЙ АРМАТУРЫ "АСТРОФЛЕКС" В ПРОМЫШЛЕННОМ И ТРАНСПОРТНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

А.Н. ПОНОМАРЕВ, канд. техн. наук, профессор, акад. МАНЭБ

Е.А. МОСПАН, аспирант

ГОУ ВПО СПбГПУ, г. Санкт-Петербург

190020, Санкт-Петербург, ул. Циолковского, 11, ООО «НТЦ прикладных нанотехнологий», E.mail: silkband@rambler.ru

Рассмотрены конструктивные варианты композитной арматуры и варианты технологии изготовления составной композитной арматуры, состоящей из нанокompозитной оболочки, модифицированной астраленами и усиленной высокомодульными (углеродными) жгутами, наполненной при этом легким наноструктурированным бетоном (нанокompозитная арматура «Астрофлекс», РСТ/RU2010/000290). Такая арматура отличается повышенными жесткостью, коррозионной стойкостью, долговечностью, высокой адгезией к бетону, высоким эксплуатационным ресурсом, высокой сопротивляемостью к знакопеременным нагрузкам, повышенной огнестойкостью и приемлемой себестоимостью. Проанализированы основные направления ее использования в гидротехническом строительстве и в мостостроении.

Ключевые слова: композитная арматура, наноструктурированный бетон, гидротехническое строительство, долговечность, мостостроение

Введение. Материалы, которые использовал человек для организации техносферы своего обитания, всегда играли важную, а часто и определяющую роль в прогрессе цивилизации. Они даже дали названия целым этапам развития человечества: каменный век, бронзовый век, железный век... Конечно, круг материалов, созданных и используемых в настоящее время в быту и технике, особенно военной, чрезвычайно широк. Но современную эпоху, – эпоху перехода от пятого к шестому технологическому укладу, можно с уверенностью называть эпохой композиционных материалов.

Неметаллическая композитная арматура строительных конструкций – это синергический результат развития новых технологий, который позволяет существенно повысить их физико-механические показатели и надежность строительных деталей, заметно снизив при этом их массогабариты.

Потребность капитального строительства в неметаллической арматуре возникла в середине прошлого века. Применение армированных бетонных конструкций в ответственных сооружениях, эксплуатируемых в сильноагрессивных средах, потребовало создание арматуры, способной выдержать воздействие таких сред. Кроме того, зачастую необходимо обеспечивать антимагнитные и диэлектрические свойства некоторых изделий и сооружений. Ограниченные запасы сырья, пригодного для получения качественных сталей и легирующих их присадок, также послужили дополнительными причинами, усиливающими интерес к неметаллической арматуре.

Виды и типы неметаллической арматуры

В настоящее время существует несколько основных типов неметаллической арматуры: углепластиковая, арамидопластиковая, стеклопластиковая и базальтопластиковая.

На рис. 1 приведены рабочие диаграммы деформаций различных видов неметаллической арматуры, в сравнении с металлической (семипроволочный канат диаметром 15 мм). Из диаграммы видно, что наиболее высокими свойствами обладает арматура из углепластиков, однако при этом ее себестоимость остается недопустимо высокой. Углеродные волокна, входящие в состав углекомполитов, имеют различную структуру и свойства в зависимости от режима обработки и вида исходного сырья. Технологий углеродных волокон непрерывно совершенствуются, повышается их прочность и жесткость, увеличивается ассортимент.

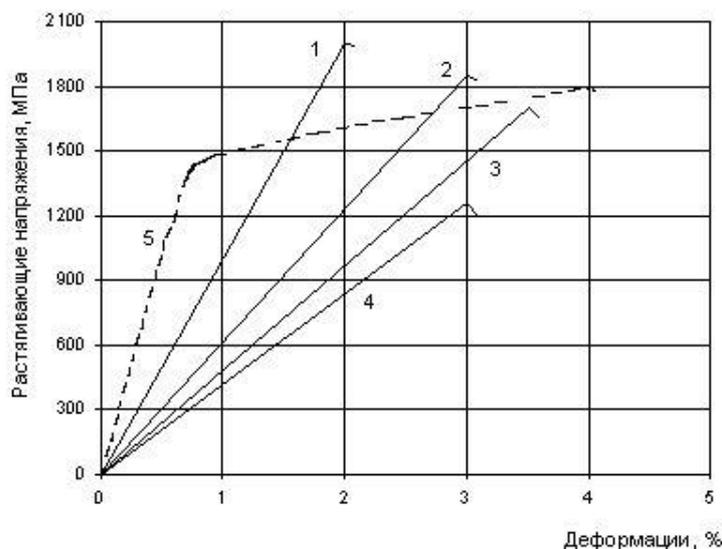


Рис. 1.

Рабочие диаграммы деформации различных типов арматуры одного сечения:
 1. углепластик; 2. арамидопластик; 3. стеклопластик; 4. базальтопластик;
 5. семипроволочный стальной канат диаметром 15 мм. [1]

Среди прогрессивных строительных материалов, все более широко применяемых в строительстве, можно назвать группу полимерных композиционных и композиционных материалов на основе комбинированных (полимерных и минеральных) вяжущих (далее ПКМ и КМ), с применением которых строят мосты и промышленные здания, их используют при реконструкции и усилении существующих сооружений. Обладая такими положительными свойствами, как большая прочность и повышенная стойкость против коррозии, в том числе радиационно-окислительной, эти материалы позволяют создавать новые конструкции и технологии для строительства зданий и сооружений, в том числе гидротехнического назначения. Использование полимерных и полимерных композиционных материалов в современной технике связано с разработкой новых методов модификации ПКМ или отдельных компонентов этих композиции. Основная тенденция развития промышленности ПКМ в настоящее время заключается в разработке и организации производства ПКМ, модифицированных различными наноматериалами, т.е. так называемых нанокомпозитов [2].

Нанокомпозитная арматура «Астрофлекс»

Новая альтернатива металлической арматуре - «Астрофлекс» (патент РФ на изобретение № 2405091 от 02.06.09г [3], РСТ/RU2010/000290). «Астрофлекс» – товарный знак составной нанокомпозитной арматуры, изготавливаемой с ис-

пользованием недавно синтезированных и исследованных новых углеродных наночастиц – астраленов [4]. Технические характеристики позволяют применять ее в строительных конструкциях для армирования термоизоляционных стеновых панелей, монолитных бетонных и сборных бетонных сооружений, а так же для использования в конструктивных элементах зданий в виде самостоятельных стержней и сеток, в условиях воздействия высоких температур, нагрузок, ускоренной коррозии стальной арматуры и бетона.

Описываемая арматура представляет собой двухслойный стержень, на наружной поверхности внешнего слоя которого выполнены рельефные элементы для улучшения сцепления с бетоном при изготовлении строительных деталей, который имеет в своем составе: внешний слой – нанокompозитный углепластик, в котором полимерная матрица модифицирована полиэдральными многослойными углеродными наноструктурами фуллероидного типа (астраленами) в соотношении 0,01 – 10% от массы полимерной матрицы, а внутренний слой – легкий высокоподвижный и огнестойкий нанобетон. Поверхность может быть снабжена дополнительным огнезащитным покрытием. Огнезащитное покрытие выполняется на основе терморасширенного графита и жидкого стекла, что позволяет повысить теплостойкость арматуры при нагреве. Поперечное сечение арматуры может иметь произвольную форму, например круглую, прямоугольную, треугольную и т.п.

Технология изготовления нанокompозитной арматуры «Астрофлекс» может быть реализована по двум основным технологическим схемам: изготовление углепластиковой оболочки и заполнение ее легким наноструктурированным бетоном ТУ 5789-035-23380399-2009, либо им же, но дисперсно армированным высокомодульной металлической, либо иной неорганической фиброй; и изготовление стержня (внутренний слой) из легкого наноструктурированного бетона ТУ 5789-035-23380399-2009 с повышенной огнестойкостью и формирование на этом стержне углепластиковой оболочки;

Учитывая хрупкость бетонных стержней, первая технологическая схема обещает более высокий уровень значений коэффициента выхода годных, но требует создания специализированного технологического оборудования для заполнения углепластиковых оболочек.

В целом, бетонный «наполнитель» трубчатой нанокompозитной арматуры удовлетворяет многим серьезным требованиям такой конструкции, таким, как высокая прочность на сжатие, долговечность, коррозионная стойкость, но оставляет поле для обсуждения путей сохранения физико-механических свойств арматуры в области предельных нагрузок.

Многоуровневое дисперсное армирование бетона высокомодульной фиброй и модификация поверхности фибры астраленами позволяет значительно расширить площадку «текучести» на кривой « σ - E » («напряжение-деформация») и повысить работу разрушения такого фибробетона [5], что крайне важно для армирующих элементов в диапазоне предельных значений напряжений. Именно наличие площадки «текучести» оправдывает многие десятилетия использования стальной арматуры, несмотря на все ее явные недостатки (см. рис.1.), поскольку именно пластические свойства сталей не допускают резкого обрушения армированных металлической арматурой конструкций. Использование в композитной арматуре «Астрофлекс» в качестве внутреннего стержня нанокompозитного фибробетона решает и эту задачу.

Благодаря двухслойному исполнению значительно снижается себестоимость армирующих элементов, по сравнению с ценой 100% углепластика, практически без потери физико-механических свойств углепластиков. Особенно ярко это прослеживается при производстве арматурных стержней больших диаметров. При прочих равных характеристиках стоимость 1 метра нанокompозитной арматуры «Астрофлекс», может быть ниже цены соответствующей ей по механическим параметрам стальной арматуры.

Экспериментальная апробация нанокompозитной арматуры

и некоторые аспекты ее использования в литых бетонных конструкциях

Для определения характеристик нанокompозитной арматуры были изготовлены образцы стандартных размеров (диаметром 12 мм) и подвергнуты испытаниям на сжатие и изгиб при различных температурах. Состав и измеренные свойства композитной арматуры «Астрофлекс» на примере использования экспериментального полимербетона в качестве внутреннего слоя приведены в табл. 1.

Таблица 1. Состав и показатели нанокompозитной арматуры

Состав внутреннего слоя, % масс	Цемент	50
	Наполнитель	20
	Пластификатор	2,5
	Эпоксидная композиция водосовместимая	0,2
	Вода	27.3
Состав наружного слоя, % масс	Углеродный жгут (лента)	67
	Полимерная матрица	30
	Астралены	3
Физико- механические показатели арматуры	Предел прочности при сжатии, МПа	310
	Предел прочности при изгибе, МПа	60
	Теплостойкость, °С	630

Кроме свойств, указанных выше, нанокompозитная арматура «Астрофлекс» обладает рядом важных характеристик, таких как: малый удельный вес (в 4-5 раз ниже, чем у стали); химическая стойкость, низкая теплопроводность, что важно для гражданского строительства – обеспечивает отсутствие мостиков холода; задаваемый коэффициент температурного расширения (КТР). КТР нанокompозитной арматуры зависит от плетения углеродных волокон внешнего слоя. Как известно, для углерода этот коэффициент равен 0, поэтому, меняя углы плетения волокон во внешнем слое арматуры, можно добиться идеального сочетания КТР арматуры и армируемого бетона. Как результат – сохранение прочности конструкции при воздействии высоких, низких и знакопеременных температур. Так как композитная арматура исключает возможность сваривания, каркасная армирующая бетон структура собирается с помощью композитных муфт и/или термоусаживающихся лент.

Наличие заполняемой бетоном внутренней полости позволяет также использовать арматуру «Астрофлекс», как средство для реализации беспроводной RFID-технологии. RFID (от английского Radio Frequency IDentification, радиочастотная идентификация) — метод автоматической идентификации объектов, в котором посредством радиосигналов считываются или записываются данные, хранящиеся в так называемых транспондерах, или RFID-метках. RFID-метка, запечатанная в защитную капсулу, может быть погружена во внутренний бе-

тонный слой арматуры до его застывания. Этот метод позволяет отслеживать как судьбу конструкции в течение всего ее жизненного цикла (от изготовления конструкции до сноса объекта, в составе которого она использовалась), так и состояние, в котором пребывает арматура в данный момент (температура, внутренние напряжения). Таким образом, экспериментально было установлено, что композитная арматура «Астрофлекс», изготовленная из нанокompозитного углепластика (внешний слой) и легкого внутреннего дисперсионно армированного нанобетона (внутренний слой), имеет повышенную теплостойкость и высокую прочность.

В отличие от бетонов, армированных стальной арматурой, бетоны, армированные композитной арматурой, гораздо в меньшей степени подвергаются коррозии. Применение каркасной структуры, выполненной из композитной арматуры «Астрофлекс» повышает физико-механические показатели армированных деталей из бетона, а также приводит к снижению напряжений в конструкциях.

Однако существует еще один фактор, в значительной степени определяющий ресурсные показатели армированных конструкций. Это устойчивость к циклическим (периодическим, или вибрационным) нагрузкам. Усталостная прочность, в первую очередь, существенна для гидротехнических сооружений и конструкций мостовых переходов, подвергающихся непрерывным знакопеременным внешним нагрузкам при воздействии волн, ветра и вибраций, связанных с работой гидроэнергетических силовых механизмов и движением транспорта. Углепластики, как конструкционные материалы, нашли применение в авиации благодаря высоким показателям циклической усталостной прочности по сравнению с металлами. Усталостная прочность стали Ст30ХМА при многоцикловом (10^7) нагружении не превышает 420 МПа, в то время, как для рядового однонаправленного углепластика КМУ-7у этот показатель по значению превосходит 1100 МПа [6]. Т.е. усталостная прочность углепластиков превышает эту величину для сталей более, чем в 2,5 раз. С учетом нормирования на плотность этот показатель возрастает еще в несколько раз. При этом именно нанокompозитные углепластики демонстрируют максимальный уровень сопротивляемости знакопеременным нагрузкам и 40% рост удельной энергии разрушения [7]. Весьма привлекательно использовать эти достоинства нанокompозитной арматуры для применения ее в сооружениях гидротехнического назначения, для которых повышение надежности означает одновременно и повышение безопасности окружающей промышленной и жилой инфраструктуры (трагические события на Саяно-Шушенской ГЭС). Мостовые переходы, в условиях устойчивой тенденции увеличения длины пролетов, также нуждаются в повышении надежности армированных железобетонных конструкций по отношению к знакопеременным циклическим нагрузкам.

Выводы

Применение нанокompозитной арматуры «Астрофлекс» позволяет существенно снизить массу конструкций, повысить коррозионную стойкость в обычных условиях эксплуатации, повысить стойкость конструкций к агрессивным средам, повысить надежность и безопасность сооружений в целом, расширять архитектурные возможности, сократить трудовые затраты, превосходя при этом по многим свойствам традиционные материалы, применяемые для армирования бетонов. Особенное внимание к новым возможностям, предоставляемым нанокompозитной арматурой «Астрофлекс», следует обратить при проектировании и реконструкции объектов гидротехнического назначения и в мостостроении.

Настоящая работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 08-08-000151.

Л и т е р а т у р а

1. *Степанов В.Ф., Красовская Г.М.* Арматура неметаллическая композитная// Сб. «Наука - московскому строительству», №2, 2008. – С. 37-41.
2. *Пономарев А.Н.* Технологии микромодификации полимерных и неорганических композиционных материалов// Труды ТПКММ, М.: «Знание», 2003. – С.508-518.
3. *Пономарев А.Н., Белоглазов А.П.* Композитная арматура «Астрофлекс» (Варианты). – Патент РФ на изобретение № 2405091, приоритет от 02.06.09г., PCT/RU2010/000290
4. *Shames A.I., Katz.E.A., Panich A.M., Mogilyansky D., Mogilko E., Grinblat J., Belousov V.P., Belousova I.M., Ponomarev A.N.* Structural and magnetic resonance study of astralen nanoparticles// *Diamond & Related Materials*, V.18, Iss. 2-3, 2009. – P. 505-510.
5. *Ваучский М.Н.* Направленное формирование упорядоченной надмолекулярной кристаллогидратной структуры гидратированных минеральных вяжущих// Вестник гражданских инженеров. – 2005. – № 2(3). – С.44-47.
6. Энциклопедия «Конструкционные материалы»// Под ред. А.Т.Туманова, М.: «Советская Энциклопедия», т. 3,1965, с. 210.
7. *Гуняев Г.М., Каблов Е.Н., Ильченко С.И., Алексашин В.М., Кривонос В.В., Комарова О.А., Пономарев А.Н., Лобач А.С., Никитин В.А., Спицина Н.Г., Косицкий Д.В.* Наномодифицированные углепластики с повышенной вязкостью разрушения// Труды ТПКММ, М.: «Знание», 2006. – С.162.

THE ANALYSIS OF THE POSSIBILITIES OF USING ASTROFLEX REBAR IN INDUSTRIAL AND TRANSPORT BUILDING

A.N. Ponomarev, E.A. Mospan

Constructive variants of composite armature and variants of manufacturing techniques of the compound composite armature are considered. ASTROFLEX rebar is a composition of an external layer of patented carbon-based nanocomposite material PRECIZER and an internal core of another patented nanocomposite Nanconcrete Light (nanocomposite armature patent claim -"ASTROFLEX", PCT/RU2010/000290). ASTROFLEX rebar offer the following features: corrosion firmness, durability, high adhesion to concrete, a high operational resource, high resistance to the sign-variable loadings, the raised fire resistance and the comprehensible cost price. The basic directions of using ASTROFLEX rebar in hydraulic engineering building and in a bridge building are analyzing.