

СТРОИТЕЛЬСТВО

УДК 681.326

А.М. Уманский, А.Т. Беккер

УМАНСКИЙ АНДРЕЙ МИХАЙЛОВИЧ – аспирант Инженерной школы (Дальневосточный федеральный университет, Владивосток), инженер комплексного отдела проектирования (НПО «ГИДРОТЕКС»).

E-mail: turman_uma@mail.ru

БЕККЕР АЛЕКСАНДР ТЕВЬЕВИЧ – доктор технических наук, директор Инженерной школы (Дальневосточный федеральный университет, Владивосток).

E-mail: abekker@mail.ru

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПОЗИТНОЙ АРМАТУРЫ

Рассмотрены перспективы внедрения композит-бетонных конструкций в России. Проанализированы основные сложности и препятствия применения композитных армирующих материалов, предложены мероприятия, выполнение которых расширит практическую область использования композит-бетонных конструкций.

Ключевые слова: композитное армирование, перспективы композит-бетона, проблемы применения.

The prospects for the use of composite reinforcement. Andrey M. Umanskiy, Aleksandr T. Bekker – School of Engineering (Far Eastern Federal University, Vladivostok).

The article deals with the prospects of introducing composite concrete constructions in Russia. The principal difficulties and obstacles to use composite reinforcement materials have been examined and measures have been proposed which will permit the sphere of applying composite concrete constructions to be enlarged.

Key words: composite reinforcement, prospects for composite concrete, problems of application

Интерес к композитной арматуре появился в середине XX столетия в связи с рядом обстоятельств. Расширилось применение армированных бетонных конструкций в ответственных сооружениях, эксплуатируемых в сильноагрессивных средах, где трудно было обеспечить коррозионную стойкость стальной арматуры. Возникла необходимость обеспечения антимагнитных и диэлектрических свойств некоторых изделий и сооружений. Наконец, надо учитывать перспективу – ограниченность запаса руд, пригодных для удовлетворения непрерывно растущих потребностей в стали и всегда дефицитных легирующих присадках.

Совершенствование свойств стальной арматуры достигло предела: ее принимаемые по действующим стандартам механические и технологические свойства достаточны для решения подавляющего большинства задач при минимально возможной себестоимости ее применения в железобетоне. Однако существует перечень работ, для которых экономически обоснованной альтернативой является композитная арматура – диэлектрик, обладающий высокой химической стойкостью и радиопрозрачностью.

Основой композитной арматуры как изделия является материал, который формируют из композитного волокна (базальтового, стеклянного, арамидного, углеродного) и связующего – терморезактивной синтетической смолы (пластика). Ввиду высокой стоимости арматуры из углеродного и арамидного волокна распространения не получили, поэтому в настоящей статье речь пойдет об арматуре из базальтового и стеклянного волокна (ровинга).

В Германии, Нидерландах, СССР, США, Японии и других странах были проведены научные исследования (они продолжаются и сегодня) неметаллической арматуры, позволившие начать ее практическое применение. В качестве несущей основы высокопрочной неметаллической арматуры было выбрано непрерывное тонкое высокопрочное стеклянное волокно диаметром 10–15 мкм, нити которого формовали в виде монолитного стержня с использованием синтетических смол (эпоксидной, эпоксифенольной, полиэфирной и др.). К волокну предъявлялись повышенные требования к сохранению прочности в щелочной среде бетона и высокому сопротивлению растяжению. В последние годы в России пришли к выводу, что целесообразнее использовать вместо стеклянного волокна базальтовое, производство которого менее трудоемко, а сырье вполне доступно. Такую арматуру стали использовать в различных сооружениях. Получили применение углеродные и арамидные волокна с более высокими механическими свойствами, расширен сортамент арматуры за счет витых канатов, возведено более десятка автодорожных и пешеходных мостов с различными пролетами [6].

Цель данной статьи – проанализировать перспективы применения композит-бетонных конструкций, рассмотреть существующую теоретическую и практическую базу применения композитных материалов в армировании, определить, какие мероприятия необходимо провести для расширения области применения данного вида армирования.

За последние годы в России научные и производственные организации освоили производство неметаллических композитных элементов гибких связей. В основном выпускают стеклопластиковые гибкие связи и анкерные стержни, в то время как к арматуре бетонных конструкций предъявляются особые требования, касающиеся длительной прочности, сцепления с бетоном, модуля упругости и т.д.

Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона (НИИЖБ) им. А.А. Гвоздева (Москва) разработал новый способ безфильерного изготовления композитной арматуры периодического профиля – метод нидлтрязии. При таком способе производства стержень, состоящий из волокнистых нитей, пропитанных полимерным связующим, сначала разделяют на отдельные части, пропускают по отдельным каналам, после чего вновь соединяют с одновременной спиральной оплеткой и натягом обмоточного жгута, внедряющегося в пучок волокон. Авторами получены патенты на технологию производства арматуры. Арматура, изготовленная методом нидлтрязии, имеет высокие анкерующие свойства в бетонной среде, надежное крепление спиральной обмотки на

силовом стержне, а также высокие физико-механические свойства. Совершенствование технологии производства позволило повысить физико-механические характеристики композитной арматуры АСП (арматура стеклопластиковая), и АБП (базальтопластиковая). На основании результатов исследований разработаны технические условия «Арматура неметаллическая композитная периодического профиля» (ТУ 5769-248-35354501-2007). На предприятии ОАО «Моспромжелезобетон» при участии НИИЖБ и ООО «Промтрест-18» были изготовлены и испытаны образцы дорожных плит ПД 3×1,75-2АСП; 3×1,75-2АБП с неметаллической арматурой производства ООО АСП (г. Пермь) и металлической арматурой. В результате испытаний установлено следующее:

максимальный момент, при котором произошло разрушение плиты, армированной металлической арматурой А500С, составил 1,12 т*м, а плиты, армированной базальтопластиковыми стержнями производства ООО АСП, – 1,5 т*м;

момент трещинообразования образцов был равен соответственно 0,46 и 0,45 т*м;

ширина раскрытия трещин для железобетонной плиты составляла: при $M=0,77$ т*м – 0,1 мм, при $M=1,0$ т*м – 0,2 мм, а для плиты, армированной базальтопластиковой арматурой: при $M=0,77$ т*м – 1,5 мм, при $M=1,08$ т*м – 2,0 мм;

максимальное перемещение плиты составило соответственно 2,7 и 8,0 см.

В плите с базальтопластиковыми стержнями после образования трещин на каждом этапе загрузки наряду с интенсивным раскрытием трещин отмечено существенное перемещение плиты. Следует отметить, что вследствие малых относительных деформаций базальтопластиковых стержней, сопоставимых, по-видимому, с деформациями сжатого бетона, разрушений последнего не происходит, что и вызывает существенные перемещения плит. Испытания показали достаточную надежность сцепления базальтопластиковой арматуры с бетоном, о чем свидетельствуют равномерный по длине образца шаг трещин в бетоне растянутой зоны и отсутствие продергивания стержней, вплоть до разрушения образцов. Проведенные исследования подтвердили принципиальную возможность использования неметаллической композитной арматуры в элементах конструкций, работающих на упругом основании. Созданы рабочие чертежи дорожных плит массового изготовления размером 3,0×1,75×0,14 м (шифр НСК 296-07), армированных неметаллической композитной арматурой и предназначенных для покрытий внутрипостроечных и объездных дорог.

НПФ «Уралспекарматура» разработан технический регламент «Неметаллическая композитная арматура для строительных работ», где приведена таблица сравнительных характеристик металлической и композитной арматуры (табл. 1) [3].

Также в данном регламенте приведена таблица равнозначной замены стальной арматуры на неметаллическую (табл. 2). Расчет и конструирование бетонных изделий производились в соответствии СНиП 52-01-2003 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения», а также по «Рекомендациям по расчету конструкций со стеклопластиковой арматурой» Р-16-78 (НИИЖБ, 1978).

Таблица 1

Сравнительные характеристики металлической и композитной арматуры

Характеристики	Металлическая арматура А3 (А400С) ГОСТ 5781-82	Неметаллическая арматура
Временное сопротивление разрыву, МПа	$\bar{\sigma}_b = 390$; $\bar{\sigma}_{расч} = 360$	ТУ 5769-183-40886723-2004 АСП: $\bar{\sigma}_b = 1\ 000$; $\bar{\sigma}_{расч} = 900$; АБП: $\bar{\sigma}_b = 1\ 100$; $\bar{\sigma}_{расч} = 1\ 000$ ТУ 5769-248-35354501-2007 АСП: $\bar{\sigma}_b = 1\ 200$; $\bar{\sigma}_{расч} = 1\ 100$; АБП: $\bar{\sigma}_b = 1\ 300$; $\bar{\sigma}_{расч} = 1\ 200$
Модуль упругости, МПа	$E_p = 200\ 000$	ТУ 5769-183-40886723-2004 АСП: $E_p = 41\ 000$; АБП: $E_p = 47\ 000$ ТУ 5769-248-35354501-2007 АСП: $E_p = 55\ 000$; АБП: $E_p = 71\ 000$
Относительное удлинение, $E, \%$	14	2,2
Плотность, $\gamma, г/см^3$	7,8	1,9
Коррозионная стойкость	Коррозирует с выделением ржавчины	Не корродирует
Теплопроводность	Теплопроводима	Нетеплопроводима
Электропроводность	Электропроводна	Неэлектропроводна
Теплостойкость		Испытана в среде горячего асфальтобетона ($\sim 200\ ^\circ C$) и при пропаривании бетонных изделий ($\sim 100\ ^\circ C$). Потери прочности не выявлено
Морозостойкость		Испытана в климатической камере в режиме замерзания и оттаивания до температуры $- 55\ ^\circ C$ в течении 100 циклов. Потери прочности не выявлено

Таблица 2

Равнозначная замена стальной арматуры на неметаллическую

Металлическая арматура А3 (А400С) ГОСТ 5781-82	Неметаллическая композитная арматура АСП ТУ 5769-248-35354501-2007
6 А3 $F_{сеч} = 28,3 \text{ мм}^2$ $P_{расч} = 10\ 200 \text{ Н}$	5 АСП $F_{сеч} = 10,2 \text{ мм}^2$ $P_{расч} = 10\ 200 \text{ Н}$
8 А3 $F_{сеч} = 50,3 \text{ мм}^2$ $P_{расч} = 18\ 100 \text{ Н}$	6 АСП $F_{сеч} = 18,2 \text{ мм}^2$ $P_{расч} = 18\ 100 \text{ Н}$
10 А3 $F_{сеч} = 78,5 \text{ мм}^2$ $P_{расч} = 28\ 300 \text{ Н}$	7 АСП $F_{сеч} = 28,3 \text{ мм}^2$ $P_{расч} = 28\ 300 \text{ Н}$
12 А3 $F_{сеч} = 113,1 \text{ мм}^2$ $P_{расч} = 40\ 720 \text{ Н}$	8 АСП $F_{сеч} = 40,7 \text{ мм}^2$ $P_{расч} = 40\ 720 \text{ Н}$
14 А3 $F_{сеч} = 154 \text{ мм}^2$ $P_{расч} = 55\ 450 \text{ Н}$	10 АСП $F_{сеч} = 55,5 \text{ мм}^2$ $P_{расч} = 55\ 450 \text{ Н}$
16 А3 $F_{сеч} = 201 \text{ мм}^2$ $P_{расч} = 72\ 360 \text{ Н}$	11 АСП $F_{сеч} = 72,4 \text{ мм}^2$ $P_{расч} = 72\ 360 \text{ Н}$
18 А3 $F_{сеч} = 254 \text{ мм}^2$ $P_{расч} = 91\ 450 \text{ Н}$	12 АСП $F_{сеч} = 91,5 \text{ мм}^2$ $P_{расч} = 91\ 450 \text{ Н}$
20 А3 $F_{сеч} = 314 \text{ мм}^2$ $P_{расч} = 113\ 040 \text{ Н}$	13 АСП $F_{сеч} = 113 \text{ мм}^2$ $P_{расч} = 113\ 040 \text{ Н}$
22 А3 $F_{сеч} = 380 \text{ мм}^2$ $P_{расч} = 136\ 800 \text{ Н}$	14 АСП $F_{сеч} = 137 \text{ мм}^2$ $P_{расч} = 136\ 800 \text{ Н}$

Насколько можно доверять данным регламента, сложно судить. За основу взята существующая теория расчета железобетонных конструкций.

Для расширения областей применения композитной неметаллической арматуры и детального изучения ее совместной работы с бетоном целесообразно продолжить исследования и провести испытания конструкций различного назначения. Особый интерес представляет использование неметаллической арматуры в предварительно напряженных железобетонных конструкциях. Однако для изготовления таких конструкций в заводских условиях препятствием является отсутствие захватных приспособлений и оснастки, которые предстоит разработать [2].

Наибольшим препятствием в применении композитной арматуры является полное отсутствие какой-либо нормативной базы. Единственными упоминаниями в действующих ТНПА являются следующие пункты ГОСТ 31384-2008 «Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии»:

- п. 6.10: в среднеагрессивных и сильноагрессивных средах для армирования конструкций без предварительного напряжения рекомендуется применять неметаллическую композиционную арматуру, за исключением изгибаемых элементов;

- п. 8.13: в конструкциях, подвергающихся электрокоррозии, допускается заменять стальную арматуру на неметаллическую (базальтопластиковую, стеклопластиковую и др.) при соответствующем обосновании [1].

СНиП 52-01-2003 «Бетонные и железобетонные конструкции» конкретизирует:

п. 5.3.2: Для железобетонных конструкций следует применять следующие виды арматуры, установленные соответствующими стандартами:

- горячекатаную гладкую и периодического профиля диаметром 3–80 мм;
- термомеханически упрочненную периодического профиля диаметром 6–40 мм;
- механически упрочненную в холодном состоянии (холоднодеформированная) периодического профиля или гладкая, диаметром 3–12 мм;
- арматурные канаты диаметром 6–15 мм;
- неметаллическую композитную арматуру»;

п. 5.3.3: К неметаллической арматуре (в том числе фибре) предъявляют также требования по щелочестойкости и адгезии к бетону» [4].

Использование композитной арматуры в армировании бетонных конструкций весьма перспективное направление, но для расширения области ее применения в строительстве необходимо выполнить следующие мероприятия:

- разработать стандарты, регламентирующие требования к качеству арматуры, ее механическим свойствам и методам контроля;

- разработать строительные нормы, регламентирующие правила расчета и конструирования композитобетонных конструкций и устанавливающие требования к контролируемым параметрам в предельных состояниях;

- подготовить предложения по оценке характеристик периодического профиля арматуры;

- разработать типовые решения, обеспечивающие требуемый уровень огнестойкости композитобетонных конструкций;

- стандартизировать гнутые изделия.

До реализации данных мероприятий выполнять проектирование композитобетонных конструкций возможно только с использованием зарубежных норм проектирования и исключительно под арматуру конкретного производителя [2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 31384-2008. Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии: общие технические требования. М., 2010. (Стандартинформ).

2. Лешкевич О.Н. Перспективы применения композитной арматуры // Третий междунар. симп. «Проблемы современного бетона и железобетона». Белгород, 9–11 ноября 2011. URL: <http://www.twirpx.com/file/664098/> (дата обращения: 10.06.2012).
3. Неметаллическая композитная арматура для строительных работ / НПФ «Уралспецарматура». Пермь, 2008. 6 с.
4. СНиП 52-01-2003 “Бетонные и железобетонные конструкции”. Введ. 30.06.2003. М., 2004.
5. СТБ 1103-98 «Арматура стеклопластиковая. Технические условия». Введ. 01.10.1998.
6. Фролов Н.П. Стеклопластиковая арматура и стеклопластбетонные конструкции. М.: Стройиздат, 1980. 104 с.