

**Сравнительный анализ основных характеристик
металлической и композитной арматуры**

Шамко Е.В., Девячень А.В.

(Научный руководитель – Шилов А.Е.)

Белорусский национальный технический университет,
Минск, Беларусь

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

Практическое решение возникшей проблемы стало возможным благодаря ускоренному развитию химической промышленности. В ряде технически развитых стран (Германия, Нидерланды, Россия, Япония, США и др.) были начаты соответствующие научные исследования.

В зависимости от типа материала композитная арматура делится на базальтопластиковую, стеклопластиковую, углепластиковую и армидопластиковую (кевлар). В зависимости от типа поверхности стержней выделяют гладкопрофильную и арматуру с нанесенной строительной резьбой.[3] Базальтовая арматура имеет повышенные показатели прочности, что отражается и на ее довольно высокой стоимости.

Стандартные формы выпуска – стержни длиной шесть либо двенадцать метров. Для арматуры небольшого диаметра возможна форма выпуска в виде бухт. В зависимости от типа поверхности выделяют композитную арматуру с гладким, строительным или периодическим профилем.

Высокие эксплуатационные качества материалов и изделий из базальтовых волокон (БНВ) (высокая стойкость к воздействию окружающей среды и агрессивных сред, долговечность) обеспечивают наиболее предпочтительный показатель соотношения цены и каче-

ства по сравнению со стеклянными волокнами. При этом БНВ далеко не всегда выступает конкурентом стеклянным волокнам. Базальтовые волокна имеют свои области применения, где не может применяться стеклянное волокно в силу своих характеристик.

В настоящее время наиболее распространено стекловолокно. Вместе с тем, стекловолокно имеет определенные ограничения по своим характеристикам: удельной прочности, температуре применения, химической стойкости, особенно в щелочных средах (таблица 1). При производстве стекловолокна используются химически чистые компоненты и особо дефицитный компонент – окись бора (B_2O_3).

Таблица 1

Сравнительные характеристики нитей из стеклянных и базальтовых волокон

Свойства	Базальтовое волокно	Волокно из Е стекла
Термические		
Температура применения, °С	От -260 до +600	От -60 до +460
Температура спекания, °С	1050	600
Коэффициент теплопроводности, в/м, К°	0,031-0,038	0,034-0,04
Физические		
Диаметр элементарного волокна, мкм	7-17	6-17
Текс (г/км)	28-120	17-480
Плотность, кг/м ³	2600-2800	2540-2600
Модуль упругости, кг/мм ²	9100-11000	До 7200
Остаточная прочность при растяжении):		
– при 20°С	100	100
– при 200°С	2,75	92
– при 400°С	2,2	52
Химическая устойчивость грубого волокна (потеря веса после 3 ч кипячения) в средах: H ₂ O	1,6	6,2
2N NaOH	2,75	6,0
2N HCL	2,2	38,9
Электрические		
Удельное объемное электрическое сопротивление, Ом м	1×10^{12}	1×10^{11}
Тангенс угла диэлектрических потерь при частоте 1 МГц	0,005	0,0047
Относительная электрическая проницаемость при частоте 1 МГц	2,2	2,3
Акустические		
Нормальный коэффициент звукопоглощения	0,9-0,99	0,8-0,93

Более высокие по сравнению с базальтовым волокном физико-химические показатели имеет углеродное волокно. Однако, углеродные волокна достаточно дороги для массового применения в промышленности и строительстве. БНВ по своим показателям занимает промежуточную позицию между стекловолокном и углеродным волокном (таблица 2). Базальтовые волокна являются наиболее оптимальными по показателю соотношения цены и качества. В некоторых областях применению базальтовых волокон нет альтернативы [1].

Таблица 2

Сравнительные характеристики волокон

Показатель	БНВ	Е-стекло волокно	S-стекло волокно	Углеродное волокно	Арамидное волокно
Прочность на растяжение, мПа	3000-4840	3100-3800	4020-4650	3500-6000	2900-3400
Модуль уп- ругости, гПа	79,3-93-1	72,5-75,5	83-86	230-300	70-140
Относитель- ное удлине- ние при раз- рыве, %	3,1	4,7	5,3	1,5-32,0	2,8-3,6
Диаметр волокна, мкм	6-21	6-21	6-21	5-15	6-15
Текс	60-4200	40-4200	400-4200	600-2400	600-1800
Температура применения, °С	-260—+600	-50—+380	-50—+300	-50—+700	-50—+290
Стоимость, \$/кг	2,5-3,0	1,1-1,4	2,5-3,5-	25-50	25

Арматура из композитных материалов имеет множество достоинств, тем не менее, имеет и определенные недостатки.

В абсолютном большинстве конструкций арматура работает НА РАСТЯЖЕНИЕ. Но есть и такие, где важны свойства жесткости "на прогиб" или так называемый "модуль упругости". Это важно, например, при изготовлении плит перекрытия.

В проектах, где предъявляются особые требования к модулю упругости, следует либо отказаться от композитной арматуры либо применить её комбинирование с металлической (таблица 3).

Но при этом упругости оказывается достаточным для того, чтобы из арматуры нельзя было согнуть криволинейные элементы, поэтому такие детали гнут в производственных условиях.

Таблица 3

Сравнительная характеристика стальной и композитной арматуры по механическим свойствам

Свойства	Стальная арматура	Композитная арматура
Прочность на растяжение, мПа	483 - 690	1000
Модуль упругости, гПа	200,0	35,0 – 51,0
Деформация при разрыве, %	6,0 – 12,0	1,2 – 3,1

Композитная арматура производится в виде стержней (обычно круглого сечения) со спиральной рельефностью, реже с песчаной посыпкой, практически любой длины на основе стеклянных (АСК – стеклопластиковая арматура), базальтовых (АБК – базальтопластиковая арматура) волокон, или на основе других компонентов (карбон, арамид), пропитанных химически стойким полимером. Рассматриваемые стержни, как правило, состоят из силового сердечника, представляющего собой композитный материал с осевым расположением волоконистой арматуры, склеенной между собой полимерной матрицей [6].

Испытания трёхслойных стеновых панелей на прочность показали, что гибкосвязанная композитная арматура полностью отвечает требованиям проектировщиков. Технологическая гибкость изделий (базальтовой арматуры) позволяет использовать их в массовом, так и в индивидуальном строительстве, а также в реконструкции жилых зданий и особняков [5].

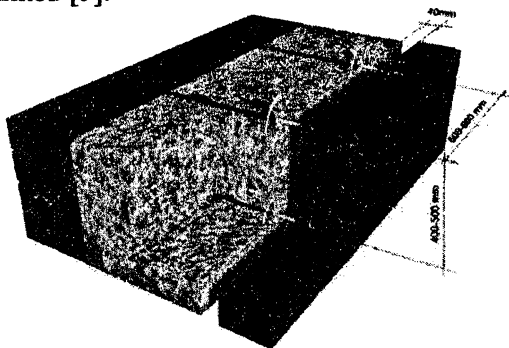


Рисунок 1. Испытания трёхслойных стеновых панелей на прочность

Композитная арматура обладает следующими преимуществами, по сравнению с металлической:

- Коррозийная стойкость к щелочной среде бетона.
- Первая группа химической устойчивости по ГОСТ 9.071-76 к минерализованной, морской, аммиачной воде; серной, соляной, фтористоводородной кислоте.
- Линейно-упругий характер зависимостей «нагрузка-деформация».
- Низкая теплопроводность.
- Модуль упругости при растяжении и изгибе не менее 40000МПа.
- Прочность при растяжении и изгибе не менее 1000МПа.
- Температура эксплуатации -70 градусов С +100 градусов.
- Небольшой удельный вес: в 4 раза легче стальной арматуры.
- Диэлектричность.
- Большой межремонтный период для конструкций.
- Значительно меньшие расходы на содержание и ремонт.
- Повышение эксплуатационной надежности и долговечности конструкций и изделий.
- Возможность проведения монтажных и регламентных работ без использования специальных грузоподъемных механизмов и техники.
- Меньшие расходы на транспортировку конструкций и их элементов на место монтажа за счет меньшего веса.

Сферы использования композитной арматуры:

А) Условия усиленной коррозии:

- канализационные лотки;
- бассейны;
- колодцы;
- пристани;
- сухие доки;
- укрепления прибрежной полосы.

Б) Ограждающие конструкции:

- конструкции архитектурного назначения;
- ограждения;
- колонны;
- лепка, армированная арматурой.

В) Ремонт железобетонных конструкций.

Г) Дорожное строительство:

- автомобильные пути;
- мосты;
- взлетные полосы.

Понятие равнопрочной замены представляет собой замену арматуры произведенной из стали, на арматуру из композитных материалов, которая имеет такую же прочность и схожие прочие физико-механические показатели. Под равнопрочным диаметром стеклопластиковой арматуры, будем понимать ее такой наружный диаметр, при котором прочность будет равна прочности аналога из металла заданного диаметра.

На основании вышеизложенного материала можно провести анализ основных характеристик металлической арматуры и арматуры из композитных материалов на примере стеклопластиковой (АСП) и базальтопластиковой (АБП) (таблица 4).

Таблица 4

Сравнения основных характеристик металлической
и композитных арматур

Характеристики	Металлическая арматура класса А-III (А400С) ГОСТ 5781-82[1]	Полимерная композитная арматура (АСП — стеклопластиковая, АБП — базальтопластиковая)
Материал	Сталь 35ГС, 25Г2С и др.	АСП — стеклянные волокна диаметром 13-16 микрон связанные полимером; АБП — базальтовые волокна диаметром 10-16 микрон связанные полимером
Вес	По строительным нормам	Легче металлической арматуры
Временное сопротивление при растяжении, МПа	360	1200 — АСП 1300 — АБП
Модуль упругости, МПа	200 000	45 000-АСП 60 000-АБП
Относительное удлинение, %	25	2,2-АСП и АБП

Характеристики	Металлическая арматура класса А-III (А400С) ГОСТ 5781-82[1]	Полимерная композитная арматура (АСП — стеклопластиковая, АБП — базальтопластиковая)
Характер поведения под нагрузкой (зависимость «напряжение-деформация»)	 <p>Площадка текучести по нагрузкой</p>	 <p>Уруго-линейная зависимость до разрушения</p>
Коэффициент линейного расширения $\alpha_{\text{ср}} \cdot 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$	13-15	9-12
Плотность, т/м^3	7,85	1,9-АСП и АБП
Коррозионная стойкость к агрессивным средам	Корродирует с выделением продуктов ржавчины	Нержавеющий материал первой группы химической стойкости
Теплопроводность	Теплопроводна	Нетеплопроводная
Электропроводность	Электропроводна	Неэлектропроводная — диэлектрик
Выпускаемые профили	6-80	4- 20
Длина	Стержни длиной 6-12 м	Любая длина, возможно скручивание в бухты диаметром от 1 метра.
Экологичность	Экологична	Имеется санитарно-эпидемиологическое заключение, не выделяет вредных и токсичных веществ
Долговечность	По строительным нормам	Прогнозируемая долговечность не менее 80 лет
Замена арматуры по физико-механическим свойствам	<ul style="list-style-type: none"> • 5Вр-1 проволока • 6А-III • 8А-III • 10А-III • 12А-III • 14А-III • 16А-III 	<ul style="list-style-type: none"> • - • АСП-4, АБП-4 • АСП-6, АБП-6 • АСП-8, АБП-8 • АСП-8, АБП-8 • АСП-10, АБП-10 • АСП-12, АБП-12

Наибольший интерес представляет характер поведения под нагрузкой (зависимость «напряжение-деформация»)

На рисунке 1 приведена кривая зависимости напряжения от деформации металлической арматуры.

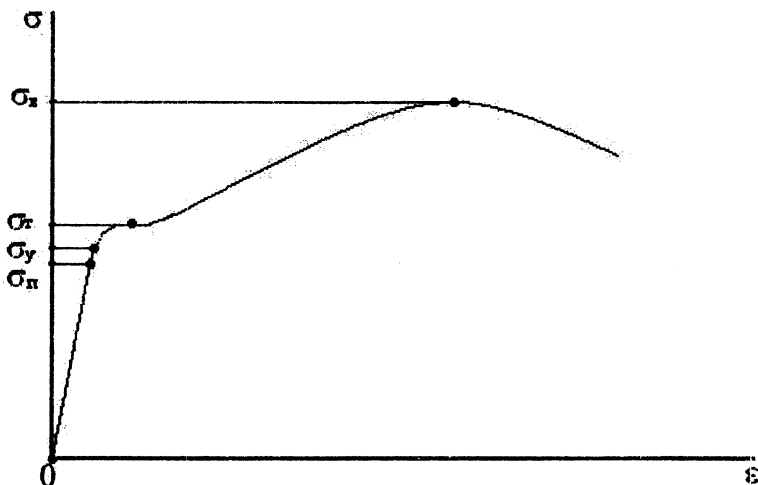


Рисунок 1 Диаграмма деформирования металлической арматуры

Представим описание характерных точек диаграммы:

σ_n – наибольшее напряжение, до которого материал следует закону Гука, называется пределом пропорциональности. Предел пропорциональности зависит от условно принятой степени приближения, с которой начальный участок диаграммы можно рассматривать как прямую.

Упругие свойства материала сохраняются до напряжения, называемого пределом упругости σ_y , т.е. это наибольшее напряжение, до которого материал не получает остаточных деформаций.

σ_t – предел текучести. Под пределом текучести понимается то напряжение, при котором происходит рост деформации без заметного увеличения нагрузки. В тех случаях, когда на диаграмме отсутствует явно выраженная площадка текучести, за предел текучести условно принимается величина напряжения, при котором остаточная деформация составляет 0,2%.

Отношение максимальной силы, которую способен выдержать образец, к его начальной площади поперечного сечения носит название предела прочности или временного сопротивления. Предел прочности также является условной величиной.

На рисунке 2 приведено примерное расположение кривых зависимости напряжения от деформации металлической и композитной арматуры

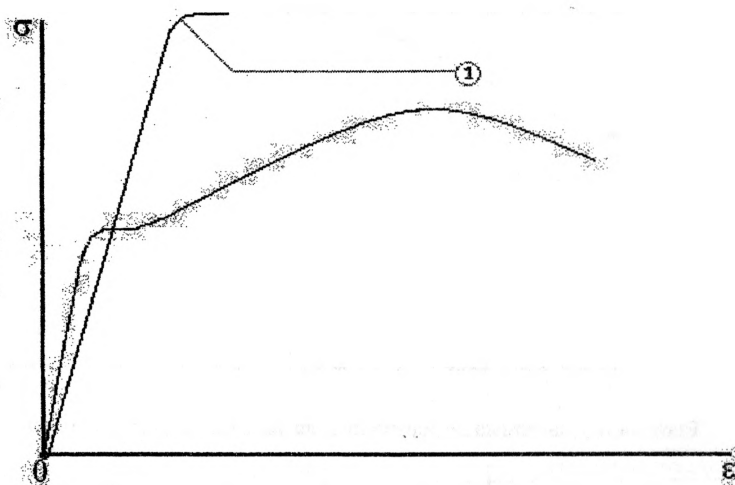


Рисунок 2. Примерное расположение диаграмм деформирования металлической и композитной арматуры

Анализ графика диаграмм деформирования проведем по изображению на рисунке 2:

- при малых нагрузках композитная арматура тянется лучше, чем металлическая;
- до того как в металле перестает действовать закон Гука, обе кривые почти прямолинейны;
- после того как металл начинает "течь", композитная арматура продолжает работать как раньше;
- после того как закон Гука перестал работать в композитной арматуре, стальная давно уже лопнула;
- композитная арматура почти не течет, а сразу лопается, это видно, когда косая прямая (1) очень быстро переходит в горизонтальную и прерывается;

– из графика видно, что композитная арматура выдержит намного большую нагрузку, чем металлическая;

– металлическая арматура вытянется и лопнет, когда при такой же нагрузке, композитная ведет себя намного лучше, так как график не меняет своего направления.

Композитные материалы – это строительные материалы, ставшие доступными для производства с развитием *нанотехнологий*. Они обладают удивительными свойствами, которыми не могут похвастаться материалы природного происхождения, эти качества обусловлены не столько составом вещества, сколько структурой его молекул. Различия в свойствах веществ, имеющих одинаковый химический состав, но различную молекулярную структуру, иногда бывают огромны.

В связи с постоянно растущими требованиями в сфере энерго- и ресурсосбережения, возникает потребность в высокопрочных, долговечных и доступных материалах для строительной отрасли. Применение в процессе строительства инновационного продукта – арматуры и сеток, изготовленных из композиционного материала – обуславливает наличие ряда преимуществ перед традиционными зданиями, строениями и сооружениями с арматурой из черного металла или углеродистой стали, а именно:

- ✓ абсолютной коррозионной стойкости (более высокая долговечность);
- ✓ наилучшего соотношения веса и усилием на разрыв (более легкие прочные конструкции);
- ✓ долговечности в среде бетонов (щелочестойкость);
- ✓ низкой плотности (сокращение транспортных расходов);
- ✓ эффективно решаются проблемы энергоэффективности, экологичности и безопасность;
- ✓ сокращения расходов на протяжении всего жизненного цикла (за счет снижения затрат на ремонт и обслуживание);
- ✓ сокращения транспортных расходов (за счет низкой плотности и веса композиционного материала).

Можно констатировать, что в нашей стране разработаны основные исходные данные для промышленного производства арматуры диаметром 6–8 мм, проектирования и изготовления различных предварительно напряженных конструкций с такой арматурой, намечены области их целесообразного применения.

Постоянный рост числа различных публикаций о высокопрочной неметаллической арматуре в мировой научно-технической литературе подтверждают перспективность этого материала для предварительно напряженного железобетона и необходимость более широкой разработки этой проблемы в Беларуси.

ЛИТЕРАТУРА

1. Михайлов К. Перспективы применения неметаллической арматуры в преднапряженных бетонных конструкциях // Бетон и железобетон, 2003
2. О химической стойкости стеклопластиковой арматуры / А.Н. Блазнов, Ю.П. Волков, А.Н. Луговой, В.Ф. Савин// Проектирование и строительство, 2003.
3. Фролов Н.П. Стеклопластиковая арматура и стеклопластбетонные конструкции. - М.: Стройиздат, 1980.
4. Тихонов М.К. Коррозия и защита морских сооружений из бетона и железобетона. М.: Изд-во АН СССР, 1962.
5. Устинов В.П. Рекомендации по применению стеклопластиковой арматуры (СПА) в качестве гибких связей трехслойных стеновых панелей. – Новосибирск: Изд. СГУПС, 1999.
6. Устинов В.П. Область эффективного применения стеклопластиковой и базальтопластиковой арматуры в строительстве // Реконструкция и совершенствование несущих элементов зданий и сооружений транспорта. Сборник научных трудов. – Новосибирск: Изд. СГУПС, 2005.
7. Материалы сайтов:
8. <http://www.stroi.ru/>
9. <http://www.tdbazalt.com>
10. <http://www.mplast.by>
11. <http://www.gk-uruchie.by/>