



Техническая информация

Апрель 2012



**Консультации по вопросам
подготовки проектов
и проведения презентаций**



Техническая поддержка

Телефон: +7 495-7880054
Факс: +7 495-7880029
E-mail: info@schoeck.ru
Web: www.schoeck.ru

Содержащиеся в настоящей технической информации рекомендации и расчетные значения, а также расчетные таблицы и номограммы отображают наиболее актуальную информацию на момент вывода в печать. Они основаны на данных общего допуска (Z-1.6-238) органов строительного надзора Германии для неметаллической композитной арматуры ComBAR® с номинальным диаметром 16 мм и на результатах многочисленных комплексных испытаний и исследований. Они необходимы инженерам для лучшего понимания продукции Schöck ComBAR®. Они не освобождают инженеров от ответственности и не заменяют существующие строительные нормы и правила.

Schöck ComBAR®

Содержание

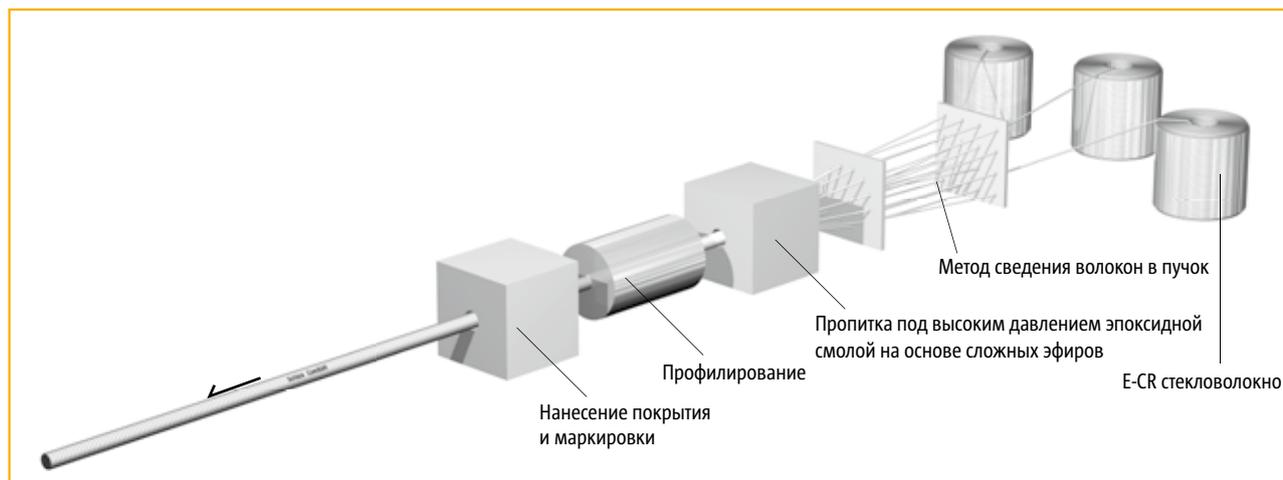
	Страница
Материал	4
Обзор продукции	5
Описание изделия	6
Характеристики прямых стержней	7
Характеристики изогнутых стержней	8
Сертификация и соответствие стандартам	9
Складирование, транспортировка, монтаж	10
Область применения	11
Предел прочности при растяжении и модуль упругости	12
Прочность, нормативное и расчетное значения	13
Сцепление арматуры с бетоном	14
Сцепление арматуры с бетоном при длительной нагрузке	15
Ширина раскрытия трещин	16
Деформации	17
Поперечный сдвиг	18
Температурное воздействие	19
Огнестойкость	20

Schöck ComBAR®

Материал

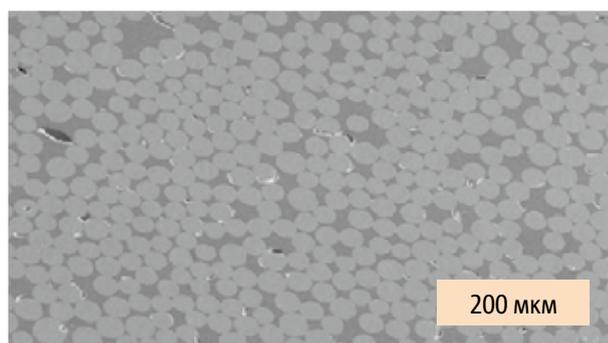
Материал Schöck ComBAR® (**composite rebar** – композитная арматура) относится к классу так называемых волокнистых композитных материалов. У волокнистых композитных материалов волокна комбинируются с другими материалами для получения улучшенных характеристик и синергических свойств. Свойства полученного при этом материала определяются конкретно применяемыми волокнами, их положением, а также выбором добавок и связующих веществ.

Одним из известнейших композитных материалов является армированный стекловолокном пластик, который применяется в таких областях как, например, электропромышленность или судостроение, а также используется для возведения легких, высокопрочных и износостойких конструкций.

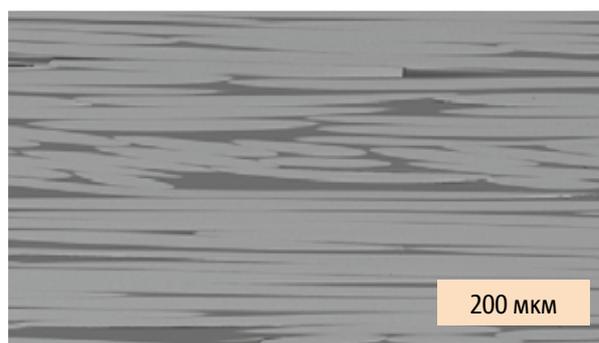


Схематическое изображение метода пултрузии

Фирма Schöck предлагает ComBAR®, волокнистый композитный материал, для возможного применения в промышленном, гражданском, дорожном и гидротехническом строительстве - везде, где требуется высокопрочная, неметаллическая, долговечная, коррозионностойкая и легко обрабатываемая арматура. Арматурный стержень состоит из множества непрерывных волокон, расположенных в продольном направлении, диаметр каждого из которых составляет приблизительно 200 мкм. Стержни изготавливаются так называемым методом пултрузии (метод протягивания). Он гарантирует линейное выравнивание волокон в направлении оси стержня, полную пропитку стекловолокон смолой и высокую степень затвердевания смолы.



Поперечное сечение стержня Schöck ComBAR®



Продольное сечение стержня Schöck ComBAR®

Волокна придают материалу прочность и жесткость в продольном направлении. Пропитка эпоксидной смолой обеспечивает фиксированное положение волокон в стержне, распределение нагрузки и защиту волокон от вредного воздействия. Уникальная геометрия ребер и тот факт, что ребра вырезаны на стержне, гарантируют высокую прочность сцепления и совместную работу арматуры ComBAR® с бетоном, аналогичную стальной арматуре периодического профиля.

Благодаря структуре с “однонаправленным” ориентированием волокон композитная арматура Schöck ComBAR® обладает свойствами, определяющими его область применения: высокий предел прочности при растяжении, малая прочность на растяжение и сжатие в направлении перпендикулярном волокнам. Сравнение с природным строительным материалом – деревом – лучше всего описывает анизотропные свойства материала. Материал Schöck ComBAR® имеет допуск ведомства строительного надзора с декабря 2008 года в Германии, а с 2012 года Schöck ComBAR сертифицирован в России.

Schöck ComBAR®

Обзор продукции

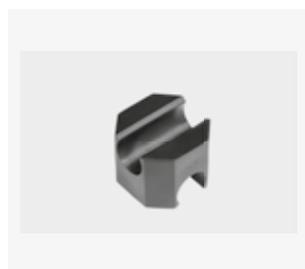
	Прямые стержни ø 8 мм ø 12 мм ø 16 мм ø 20 мм ø 25 мм ø 32 мм Прочие диаметры по запросу	Стандартная длина стержня 10,0 м 10,0 м 11,8 м 11,8 м 11,8 м 11,8 м	▶ Несущий элемент для восприятия растягивающих усилий в бетоне
	Стержни с анкерным креплением ø 12 мм ø 16 мм ø 25 мм ø 32 мм Прочие диаметры по запросу	Длина стержня до 4,0 м до 4,0 м до 4,0 м до 4,0 м	▶ Арматура против продавливания
	Изогнутые стержни ø 12 мм ø 16 мм ø 20 мм	Длина стержня до 6,5 м до 6,5 м до 6,5 м	▶ Арматура для восприятия поперечных усилий в плитах и балках ▶ Дополнительное армирование на краях плит, консолей

Сроки поставки

Сроки поставки уточняются по телефону + 7 495-7880054

Дополнительные элементы

Если требуется возвести конструкцию, вообще не содержащую металлических элементов, мы предлагаем пластиковые распорки различной высоты, а также пластиковые фиксаторы в качестве альтернативы обычной вязальной проволоке. Кроме того, стержни ComBAR® могут быть скреплены кабельными стяжками, выполненными из пластика. Для соединения с железобетонным арматурным каркасом мы предлагаем клеящиеся муфты и клеммы. Для соединения стержней Schöck ComBAR® со стальными арматурными стержнями при диаметрах, превышающих 32 мм, существуют специально разработанные клеммы.



Фиксаторы



Распорки



Муфта



Клемма

Schöck ComBAR®

Описание изделия

Schöck ComBAR® – неметаллическая композитная арматура, предназначенная для усиления бетонных конструкций. Ее механические свойства, так же как и ее сцепление с бетоном, сравнимы со свойствами и поведением стальных арматурных стержней периодического профиля. Благодаря своим свойствам, ComBAR® гарантированно служит на протяжении 100 лет при преимущественно статических нагрузках и в условиях средневропейского климата.

Стержни Schöck ComBAR® ведут себя линейно-упруго до момента хрупкого разрушения, который наступает при нагрузках, превышающих 1000 МПа, вне зависимости от диаметра стержня. Как результат сравнительно низкого значения модуля упругости, разрушению бетонных конструкций, армированных стержнями ComBAR®, предшествует возникновение больших деформаций. При разгрузке конструкции, деформации сокращаются почти до нуля.

Стержни ComBAR® поставляются в готовом виде и не требуют дополнительной обработки на строительной площадке (стержни П-образной формы, хомуты).

Свойства материала

- ▶ Высокая коррозионная стойкость
- ▶ Высокая химическая стойкость
- ▶ Диэлектрик
- ▶ Ненамагничиваемость
- ▶ Легкая обработка
- ▶ Низкая теплопроводность

Область применения

- => Открытые паркинги, подземные гаражи, мостовое покрытие, парапеты, тротуары, волнорезы, отбойники, тонкая фасадная плитка, береговые укрепления, гидротехнические сооружения
- => Полы промышленных сооружений, промышленные резервуары, очистные сооружения, сельскохозяйственные сооружения
- => Трансформаторы, реакторы, оборудование, работающее под высоким напряжением, сигнальные установки и стрелочный перевод в железнодорожном строительстве
- => Чувствительные измерительные приборы, структурная биология, нанотехнологии
- => Стенки стартовых и конечных шахт при тоннельном строительстве
- => Энергоэффективность в жилищном строительстве

Свойства	Стальная арматура BSt 500 S	Коррозионностойкая арматура	Композитная арматура Schöck ComBAR® (прямые стержни)
Предел прочности при растяжении (Н/мм ²)	550	550	> 1000 (см. стр.12)
Предел текучести, нормативное сопротивление арматуры (Н/мм ²)	500	500	580 (см. стр. 13)
Расчетное сопротивление арматуры (Н/мм ²)	435	435	445
Относительное удлинение стержня	2,18 %	2,72 %	7,4 %
Модуль упругости E (МПа)	2,0·10 ⁵	1,60·10 ⁵	0,6·10 ⁵
Расчётное сопротивление сцепления арматуры с бетоном C20/25 (Н/мм ²)	2,3	2,3	2,3
Расчётное сопротивление сцепления арматуры с бетоном C30/37 (Н/мм ²)	3,0	3,0	3,0
Защитный слой бетона	Согласно EC-2	d _s + 10 мм	d _s + 10 мм
Плотность ρ (г/см ³)	7,85	7,85	2,2
Теплопроводность λ (В/мК)	60	15	< 0,5
Коэффициент теплового расширения α (1/К)	0,8 - 1,2 · 10 ⁻⁵	1,2 - 1,6 · 10 ⁻⁵	0,6х10 ⁻⁵ (линейный)/ 2,2 · 10 ⁻⁵ (объемный)
Намагничиваемость	есть	очень незначительная	нет

Все значения соответствуют EC-2

Schöck ComBAR®

Характеристики прямых стержней.

Стержень ComBAR®	Внутренний диаметр (мм)	Внешний диаметр (мм)	Площадь поперечного сечения* (мм ²)	Вес 1 м (кг)
Ø 8	8	9	50.3	0.13
Ø 12	12	13.5	113	0.30
Ø 16	16	18	201	0.53
Ø 20	20	22	314	0.82
Ø 25	25	27	491	1.22
Ø 32	32	34	804	1.93

* Площадь поперечного сечения нетто:

Стержни ComBAR® производят путем пултрузии. Затем в затвердевших стержнях ComBAR® вырезаются ребра. Вследствие этого, ребра не оказывают влияния на несущую способность или работу стержня на растяжение. Для определения площади поперечного сечения нетто штангенциркулем измеряют внешний диаметр. Из этого значения вычитают двойное значение глубины ребра, измеряемое штангенциркулем. Методики нахождения площади поперечного сечения согласно ACI440 или CSA S806 неприменимы для стержней ComBAR®.

Свойства	Обозначение 1)	Значение	Примечание
Предел прочности при растяжении (кратковременное нагружение)	f_{fk0}	> 1000 Н/мм ²	
Предел прочности при растяжении (длительное нагружение)	f_{fk}	580 Н/мм ²	(100 лет, 40° С, rh13.7, водонасыщенный бетон)
Коэффициент надежности по арматуре ComBAR®	γ_f	1,3	
Расчетное сопротивление арматуры	f_{fd}	445 Н/мм ²	
Модуль упругости E	E_f	$0,6 \cdot 10^5$ Н/мм ²	см. стр.12
Относительное удлинение арматуры	ϵ_f	7,4 ‰	(при $f_{fd} = 445$ Н/мм ²)
Напряжение сцепления	f_{bd}	2,3 Н/мм ² 3,0 Н/мм ² 3,7 Н/мм ²	C 20/25 C 30/37 C 40/50
Защитный слой бетона	c_v	$d_s + 10$ мм	для всех диаметров стержней: $d_s + 5$ мм
Плотность	γ	2,2 г/см ³	
Теплопроводность	λ	< 0,5 Вт/(м·К)	
Коэффициент теплового расширения	α	$0,6 \cdot 10^{-5}$ 1/К (линейный) $2,2 \cdot 10^{-5}$ 1/К (объемный)	Бетон: $0,5 - 1,5 \cdot 10^{-5}$ 1/К
Критическая температура	-	400 °С	см. стр. 20
Сопротивление электрическому току	-	> 10_{12} μΩсм	
Химическая стойкость	-	очень высокая	
Электромагнитная проводимость	-	нет	
Экологическая совместимость	-	Zo	соответствует LAGA (Государственная ассоциация по отходам, Германия)
Предел прочности на растяжение при 40 °С (1000ч)	$f_{fk 1000 h}$	> 950 Н/мм ²	Для стержней всех диаметров

Schöck ComBAR®

Характеристики изогнутых стержней.

Стержень ComBAR®	Внутренний диаметр (мм)	Внешний диаметр (мм)	Площадь поперечного сечения (мм ²)	Вес 1 м (кг)
Ø 12	12.0	15.5	113	0.30
Ø 16	16.0	19.8	201	0.49
Ø 20	19.1	23.8	287	0.71

Свойства	Обозначение ¹⁾	Значение	Примечание
Предел прочности при растяжении (кратковременное нагружение)	f_{fk0}	> 550 Н/мм ²	
Предел прочности при растяжении (длительное нагружение)	f_{fk}	250* Н/мм ²	(100 лет, 40 °С, рН 13.7, водонасыщенный бетон)
Коэффициент надежности по арматуре ComBAR®	γ_f	1,3	
Расчетное сопротивление арматуры для восприятия изгибающего момента	f_{fd}	190* Н/мм ²	
Расчетное сопротивление арматуры для восприятия поперечных усилий	f_{fd}	120* Н/мм ²	
Модуль упругости E	E_f	0,55·10 ⁵ * Н/мм ²	
Относительное удлинение арматуры	ϵ_f	3,5* ‰	(при $f_{fd} = 190$ Н/мм ²)
Относительное удлинение арматуры, принимаемое в расчете	ϵ_f	2,2* ‰	
Напряжение сцепления	f_{bd}	2,3* Н/мм ² 2,3* Н/мм ² 2,3* Н/мм ²	C 20/25 C 30/37 C 40/50
Защитный слой бетона	c_v	$d_s + 15$ мм	для всех диаметров стержней: $d_s + 5$ мм
Теплопроводность	λ	< 0,5 Вт/(м·К)	
Критическая температура	–	400 °С	См. стр. 20
Сопротивление электрическому току	–	> 10 ₁₂ μΩсм	
Химическая стойкость	–	очень высокая	
Электромагнитная проводимость	–	нет	

* В настоящее время проводятся дополнительные испытания, в результате которых к 2013 году ожидаются улучшенные значения характеристик.

Schöck ComBAR®

Сертификация и соответствие стандартам

Организация, Страна	Документ	Дата
Сертификат*	Сертификат соответствия № РОСС DE.СЛ87.Н01270	2012
Технические условия*	ТУ 5763-308-3655-4501-2012	2012
Немецкий институт строительной техники, Берлин, Германия	Общий строительный допуск № Z-1.6-238 «Арматурный стекловолоконный стержень Schöck ComBAR® диаметром Ø 16 мм»	2008.2011
Сертификат КОМО, Нидерланды	«Стекловолоконная арматура ComBAR® диаметром Ø 8, 12, 16 мм для армирования бетона»	02.2009
Университет Торонто, Канада	Сертификат соответствия системе ISIS в Канаде для неметаллических композитных стержней ComBAR® диаметром Ø 16 мм	2007
Университет Syracuse, США	Сертификат соответствия на неметаллические композитные арматурные стержни ComBAR®; Свойства подтверждены испытаниями, проведенными в соответствии с требованиями ACI 440.R3-04	2006.2012

*Актуальные версии Сертификатов и ТУ см. www.schoeck.ru

Сертификация на территории РФ

Изделие Schöck ComBAR® сертифицированы на территории РФ для применения в качестве неметаллической композитной арматуры для армирования бетонных конструкций. Арматурные изделия соответствуют ТУ 5763-308-3655-4501-2012.

Ссылка на допуск в Германии

Общий строительный допуск ComBAR® (Z-1.6-238) DIBt (Немецкий институт строительной техники, Берлин) упоминает в своей настоящей версии исключительно стержни ComBAR® диаметром 16 мм. В настоящий момент еще не все варианты применения арматуры Schöck ComBAR® в бетонных конструкциях покрываются данным документом.

При применении композитной арматуры Schöck ComBAR® при статических нагрузках в случае, не описанном в Допуске к эксплуатации ComBAR®, для каждого строительного объекта в Германии ответственный сотрудник принимает решение, действует ли в данном конкретном случае Допуск к эксплуатации ComBAR®.

Schöck ComBAR®

Складирование, транспортировка, монтаж

Складирование и транспортировка

Для предотвращения образования выцветов при длительном складировании материал Schöck ComBAR® должен быть защищен от воздействия ультрафиолета. При длительном воздействии (более 6 месяцев) в местах выцветов арматура становится хрупкой. При длительном воздействии UV-лучей и отсутствии специального защитного покрытия происходит разложение полимеров. Соответственно, при длительном складировании на стержни Schöck ComBAR® должно быть нанесено защитное покрытие, а сами стержни должны находиться в сухом закрытом помещении. При пробном складировании на открытом воздухе в среднеевропейском климате в течение 4 - 8 недель без нанесения защитного покрытия наблюдалось образование выцветов без уменьшения предела прочности на сцепление и предела прочности на растяжение.

Во избежание повреждений ребер стержня композитную арматуру ComBAR® нельзя волочить по неровным поверхностям. Она не должна подвергаться шлифовке.

При подъеме краном прогибы арматуры ComBAR® аналогичны тем, что возникают в стальной арматуре. Необходимо применять соответствующее подъемное оборудование.

Нарезка стержней

Обработка композитной арматуры Schöck ComBAR® существенно легче обработки стальной арматуры. Для того, чтобы нарезать стержни необходимой длины, рекомендуется применять слесарную ножовку, ленточную пилу, шлифовальную машину с алмазной или твердосплавной насадкой, которые позволяют получить неповрежденный и недеформированный срез стержня. Неметаллическую композитную арматуру Schöck ComBAR® ни в коем случае нельзя резать при помощи болтореза или барабанных ножниц, так как волокна материала могут при этом расплющиться или расщепиться. При необходимости места разреза для удаления неровностей могут быть обработаны напильником или рашпилем как и при работе с древесиной.

Изогнутые стержни

Стержни ComBAR® до своего разрушения ведут себя линейно-упруго. Изогнутый стержень возвращается в исходное прямое положение, если убрать силу, вызвавшую изгиб.

Стержни ComBAR® небольшого диаметра могут быть изогнуты, только если они находятся в зафиксированном положении до момента затвердевания бетона. Напряжение, возникающее в стержне при изгибе, необходимо добавить к напряжению, возникающему при последующем приложении нагрузки. Общее напряжение в стержне не может превышать допустимое значение.

Изогнутые арматурные стержни ComBAR® изготавливаются в заводских условиях. Свойства изогнутых стержней отличаются от свойств прямых стержней ComBAR®, поскольку они производятся при помощи разных процессов.

Техника соединения

Для соединения стержней Schöck ComBAR® между собой может использоваться традиционная арматурная вязальная проволока.

В случаях же, когда требуется полностью неметаллические арматурные соединения, могут применяться **кабельные стяжки**. Пластиковые **фиксаторы** были разработаны специально для того, чтобы соединять неметаллическую композитную арматуру Schöck ComBAR® в сетки. Фиксатор своим пазом накладывается на стержень и затем при помощи резинового молотка или другого аналогичного инструмента зажимается на стержне. Поперечный стержень фиксируется таким же образом. Фиксаторы позволяют создавать арматурные сетки из 8 и 12 диаметров арматуры.

Муфты представляют собой альтернативный способ соединения неметаллической композитной арматуры Schöck ComBAR® и обычной стальной арматуры. Клеящиеся муфты приклеиваются к арматуре ComBAR® в заводских условиях. Клеящаяся муфта не должна подвергаться воздействию температур, превышающих 100 °С. При применении предварительно изготовленных на заводе клеящихся муфт следует обращать внимание на то, чтобы при выполнении резьбового соединения стержень поворачивался или затягивался только у муфт. При выполнении сварочных работ вблизи клеящейся муфты следует соблюдать осторожность!

Schöck ComBAR®

Область применения

Область применения

Описание

Промышленные сооружения и промышленные полы

Неметаллическое армирование:

- ▶ отсутствие индукционных токов,
- ▶ отсутствие помех в работе оборудования для научно-исследовательских работ



Парковки

Коррозионностойкая арматура:

- ▶ не требуется защитное покрытие,
- ▶ меньшая толщина плит



Мостостроение

Коррозионностойкая арматура:

- ▶ отсутствие повреждений от действия солей-антиобледенителей и т.д.,
- ▶ большой срок службы конструкции



Железнодорожное строительство

Неметаллическая арматура:

- ▶ отсутствие помех для сигнальных установок,
- ▶ отсутствие нагрева арматуры вследствие индукционных потоков вблизи стрелочных переключателей



Морское строительство

Коррозионностойкая арматура:

- ▶ отсутствие коррозии, вызванной морской водой



Тонкие сборные бетонные элементы и фасады

Коррозионностойкая арматура:

- ▶ минимальный защитный слой,
- ▶ минимальная толщина конструкций,
- ▶ термоанкеры



Строительство научных исследовательских центров и эко-домов

Неметаллическая арматура:

- ▶ отсутствие генерации, электромагнитных полей или помех для приборов



Возведение кирпичной кладки

Малый модуль упругости:

- ▶ уменьшение внутренних усилий от разности температур в связях



Тоннельное строительство

Поддающаяся обработке арматура:

- ▶ прямое прохождение шахтной стенки тоннельно-буровой машиной,
- ▶ существенное снижение расходов



Schöck ComBAR®

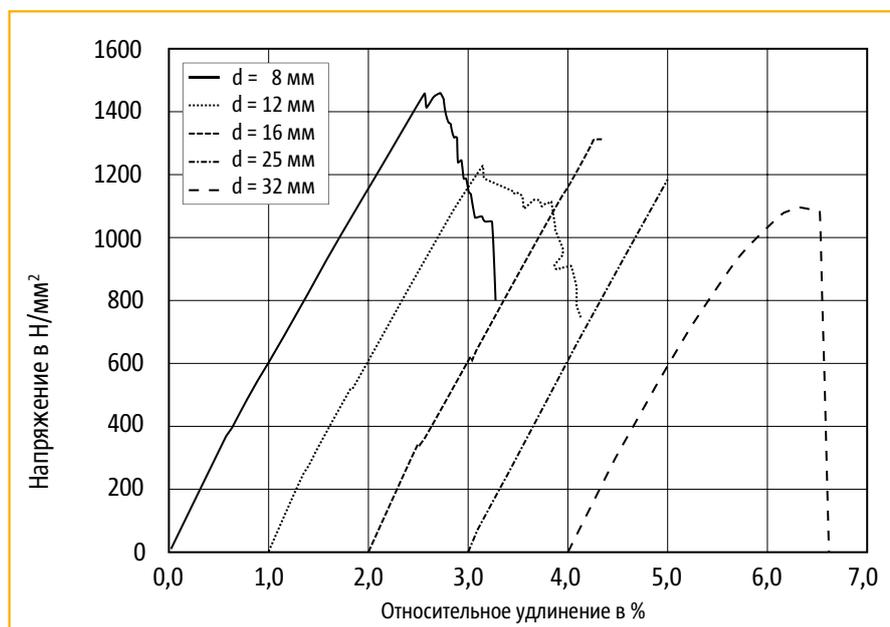
Предел прочности при растяжении и модуль упругости

В отличие от стали неметаллическая композитная арматура Schöck ComBAR® ведет себя линейно-упруго до момента хрупкого разрушения. Пластических деформаций не наблюдается. Модуль упругости прямых стержней превышает 60 000 Н/мм² (64 000 Н/мм² для арматуры d=16мм). Измеренный предел прочности при растяжении для всех значений диаметра стержней превышает 1000 Н/мм². Средние значения предела прочности при растяжении от кратковременной нагрузки для диаметров стержня представлены в следующей таблице.

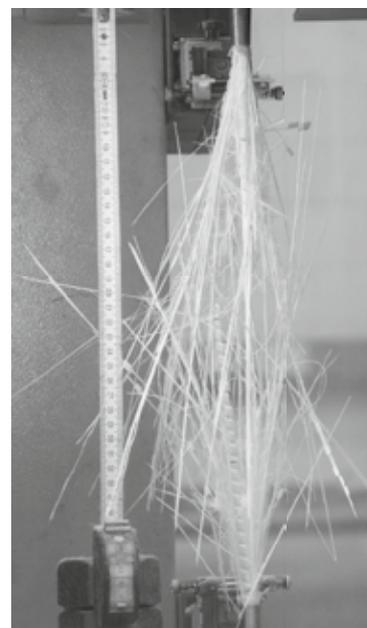
Диаметр стержня [мм]	Среднее значение f_{rk} [Н/мм ²]
8	1 500
12	1 350
16	> 1 200
20	> 1 150
25	> 1 100
32	> 1 000

Значения, полученные в ходе испытаний Университета Торонто

Для определения предела прочности при растяжении и диаграммы напряженно-деформированного состояния арматурный стержень ComBAR® с обоих концов зажимается в гидравлическом прессе. Определение модуля упругости осуществляется при помощи высокоточного датчика деформаций. Ниже на диаграмме представлены результаты испытания на растяжения для отдельных значений диаметров стержня.



Кривые напряженно-деформированного состояния для отдельных значений диаметра стержня



Треснувший стержень

Когда предел прочности при растяжении превышен, наступает хрупкое разрушение, которое происходит на свободном участке образца. Оно характеризуется разрывом волокон и расщеплением стержня на отдельные волокна (кистевидный пучок волокон). Закрепленные в гидравлическом прессе концы стержня, включая ребра, остаются неповрежденными. Различные признаки неминуемого разрушения появляются задолго до самого разрушения.

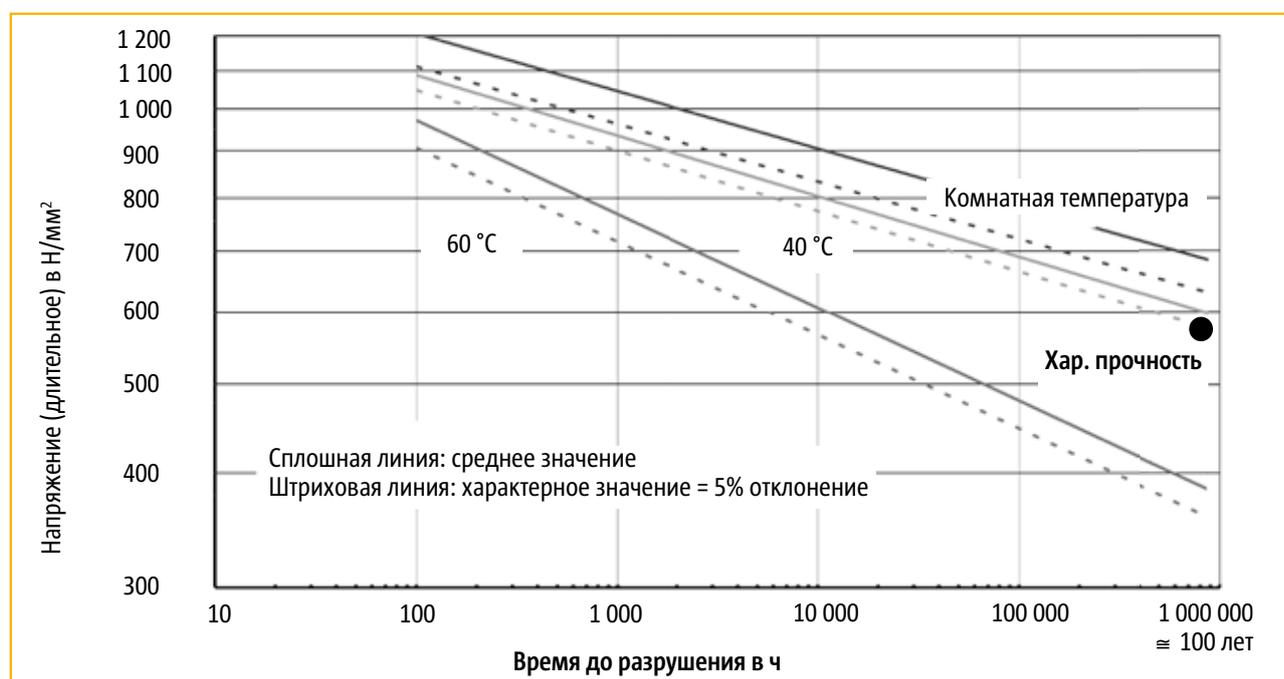
Schöck ComBAR®

Прочность, нормативное и расчетное значения

Длительная прочность материала Schöck ComBAR® была подтверждена в процессе испытаний для получения допуска ведомства строительного надзора в Германии и в Нидерландах для применения в бетоне в течение 100 лет, проведенных по следующей программе:

- ▶ Стержни были подвергнуты действию постоянной статической нагрузки во влажном бетоне с высоким содержанием щелочи (содержание $\text{Na}_2\text{O} > 1\%$) до момента начала разрушения.
- ▶ Время до разрушения для различных нагрузок составило от 50 до 6500 часов и более.
- ▶ Испытания были проведены при комнатной температуре (23°C), при 40 °C и при 60 °C.
- ▶ На основании отдельных значений испытаний на длительную прочность для каждой температуры были определены линия средних значений и соответствующее 5 %-е отклонение.

Результаты серии испытаний с более чем 80 индивидуальными испытаниями для стержней $\varnothing 8, 16$ и 25 мм показаны на графике.



Разрушающее напряжение материала Schöck ComBAR® во влажном бетоне с высоким содержанием щелочи 10 000ч при 60°C соответствует 1 000 000ч при 40°C
100 000ч при 40°C соответствует 1 000 000ч при 23°C

Нормативное значение прочности при растяжении при длительном действии нагрузки было экстраполировано из этих данных для предусмотренного срока службы конструкции на основе 5 %-го отклонения. Для наружных конструкций в нормальном среднеевропейском климате нормативное значение длительной прочности при растяжении для срока службы в 100 лет определяется как $f_{fk} = 580 \text{ Н/мм}^2$.

Для иных условий окружающей среды (среднее значение температуры) или для предусмотренного в проекте короткого срока службы соответствующие им значения могут быть определены из диаграммы. При этом всегда для срока службы и условий окружающей среды нужно задавать реальные допуски (см. п. 40 “Волокнистая арматура в железобетонных сооружениях”).

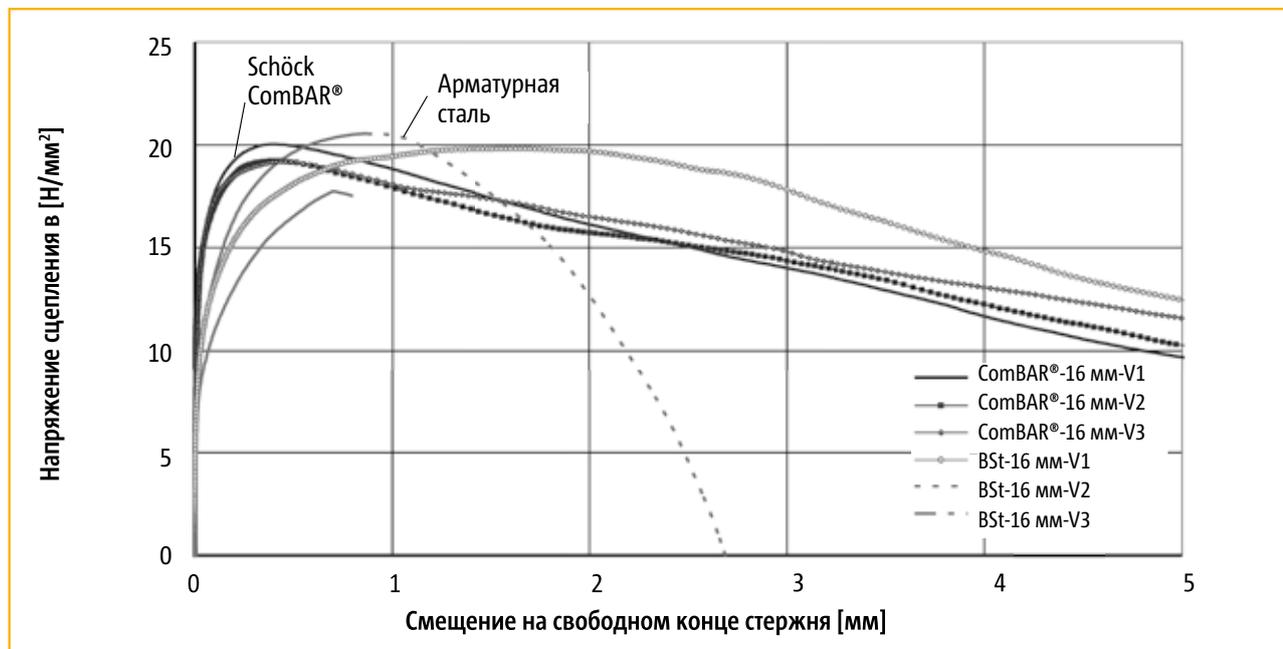
Расчетное значение прочности при растяжении при длительном действии нагрузки определяется аналогично, как и для стальной арматуры. Коэффициент надежности по материалу для композитной арматуры Schöck ComBAR® составляет $\gamma_f = 1,3$. Поэтому для наружных конструкций в нормальном среднеевропейском климате получается расчетное значение прочности при растяжении в предельном состоянии несущей способности (GZT) $f_{fd} = 445 \text{ Н/мм}^2$.

Защитный слой бетона не оказывает влияния на длительную прочность стержней ComBAR®. Соответствующим минимально допустимым значением является $d_s + 10 \text{ мм}$ или $d_s + 5 \text{ мм}$ для сборных конструкций. Эти значения гарантируют достаточное сцепление стержня с бетоном.

Schöck ComBAR®

Сцепление арматуры с бетоном

Значения напряжений сцепления арматуры ComBAR® с бетоном при кратковременной нагрузке были получены при испытаниях на выдергивание арматурного стержня из бетонного образца. Испытания были проведены в соответствии с рекомендованной RILEM (РИЛЕМ) методикой RC6 "Pull-Out Test". Бетонные образцы имели форму куба со стороной 150 мм, предел прочности бетона при сжатии составлял > 40 Н/мм². Смещения конца стержня, свободного от усилия,



RILEM: испытание с осевой нагрузкой, $d_s = 16$ мм с длиной анкеровки $5 d_s$; сравнение

Серия испытаний привела к следующим результатам:

- ▶ При разрушении, как и у стальной арматуры, наблюдается сначала разрушение бетона между ребрами арматурного стержня, сами ребра при этом остаются без повреждений.
- ▶ Также, как и у стальной арматуры, сцепление композитной арматуры Schöck ComBAR® возрастает с повышением класса бетона.
- ▶ Наблюдаются лишь незначительные различия между смещениями на свободном конце композитной арматуры Schöck ComBAR® и смещениями стальной арматуры. Максимальное напряжение сцепления наблюдается при смещении в 0,4 – 0,6 мм.



Специальный профиль поверхности арматурного стержня Schöck ComBAR® обеспечивает оптимальное сцепление между бетоном и арматурой.

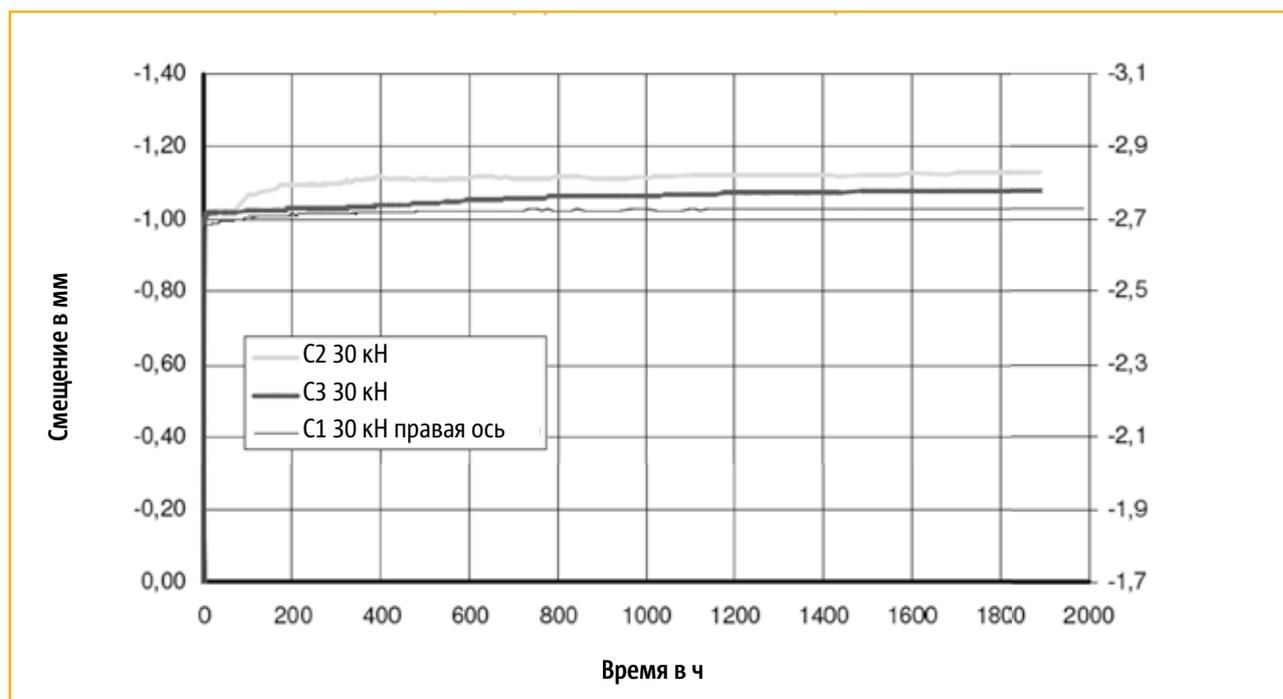
Schöck ComBAR®

Сцепление арматуры с бетоном при длительной нагрузке

Чтобы определить значения напряжений сцепления арматуры ComBAR® с бетоном при длительной нагрузке, были проведены две серии испытаний согласно рекомендованной RILEM (РИЛЕМ) методике RC6. Целью испытаний было определение напряжения сцепления стержней ComBAR® при сроке службы в 100 лет на основании результатов ускоренных долговременных испытаний при экстремальных условиях.

Для оценки напряжений сцепления арматуры ComBAR® Ø 16 мм с бетоном при длительном нагружении проводился следующий тест: стержни ComBAR® были замоноличены в бетонные кубики с размерами сторон 150 мм на длину анкеровки $l_{b,net} = 5 d_f = 80$ мм, равной пяти диаметрам арматуры, твердение бетона со стержнем происходило при комнатной температуре в водяной ванне. На первом этапе стержни были нагружены до достижения на нагруженном конце смещения, равного 1-3 мм.

Затем постоянная нагрузка на стержни была несколько снижена. В течение всей второй фазы испытания бетонные кубики были нагреты до температуры 60 °С и постоянно поддерживались во влажном состоянии. При постоянном значении напряжения сцепления, равном 11,2 Н/мм², дополнительное смещение на нагруженном конце после 2 000 часов составило менее 0,6 мм. При напряжении сцепления 7,5 Н/мм² смещение составило менее 0,2 мм.



$f_b = 7,5 \text{ кН/мм}^2$; 60 °С, водонасыщенный

Серия испытаний привела к следующим результатам:

- ▶ При испытании на длительную нагрузку (при долговечности в 100 лет) напряжение сцепления значительно превышает требуемое значение в 8 МПа.
- ▶ При требуемом значении напряжения сцепления в 8 МПа смещение на нагруженном конце составляет менее 0,3 мм.
- ▶ Значение напряжения сцепления для других диаметров эквивалентно значениям для арматуры Ø16 мм.
- ▶ Коэффициент сцепления k_b может быть принят равным 0,6, коэффициент, учитывающий влияние вида поверхности арматуры, $k_4 = 1,0$, $k_5 = 1,0$.

Schöck ComBAR®

Ширина раскрытия трещин

Для определения ширины раскрытия трещин были проведены испытания на растяжение на цилиндрических образцах (диаметр стержня ComBAR® $\varnothing = 16$ мм; защитный слой бетона $c_v = 65$ мм, коэффициент армирования $\rho = 1,1$ %, кубиковая прочность бетона $f_{c,cube} = 30$ Н/мм²). Дополнительное армирование в образцах не применялось. Максимальная нагрузка составила 900 Н/мм². На образцах появились первые трещины, когда предел прочности на растяжение бетона был превышен. Шаг трещин составил приблизительно 300 мм. По мере увеличения нагрузки ширина раскрытия трещин постепенно увеличивалась. При достижении максимального нагружения 900 Н/мм² образец разгрузался. Трещины почти полностью закрылись. Тщательный анализ образцов обнаружил наличие сколов бетонных выступов вблизи трещин и их смещение. Между ребрами стержня бетонные выступы сохранились неповрежденными. Сам арматурный стержень тоже остался без повреждений.



Первая трещина
(150 Н/мм²)



Вторая трещина
(300 Н/мм²)



575 Н/мм²



900 Н/мм²
(макс. напряжение)

Выводы из результатов испытаний

- ▶ Поведение арматуры Schöck ComBAR® при образовании трещин аналогично поведению стальной арматуры.
- ▶ При одинаковом проценте армирования при применении композитной арматуры Schöck ComBAR® наблюдался, как правило, меньший шаг между трещинами, чем при применении стальной арматуры.

Следующие приближения возможно принять для получения из требуемой площади поперечного сечения стальной арматуры требуемой площади поперечного сечения композитной арматуры Schöck ComBAR® для предотвращения образования трещин.

Ширина раскрытия трещин пропорциональна диаметру стержня независимо от того, какой материал используется. Трещины, возникающие при применении большего числа арматурных стержней меньшего диаметра меньше, чем при использовании меньшего количества арматурных стержней большего диаметра.

Как и в случае стальной арматуры, общее смещение композитной арматуры Schöck ComBAR® (испытание на выдергивание) пропорционально квадрату напряжения в стержне. Если напряжение уменьшить наполовину, то смещение сократится на четверть.

Предварительно можно предположить, что шаг трещин в конструкции, армированной композитной арматурой ComBAR®, соответствует шагу трещин в эквивалентной железобетонной конструкции.

Основываясь на этих предположениях и фактах, отношение требуемого количества композитной арматуры ComBAR® к требуемому количеству стальной арматуры следующее.

$$\frac{W_{k, \text{ComBAR}^\circ}}{W_{k, \text{BSt500}}} = 1,0 \cong \frac{200.000 \text{ Н/мм}^2}{60.000 \text{ Н/мм}^2} \cdot \left[\frac{\varnothing_{\text{ComBAR}^\circ}}{\text{BSt500}} \right] \cdot \left[\frac{f_{\text{ComBAR}^\circ}}{f_{\text{BSt500}}} \right]^2$$

Отсюда следует (для одинакового диаметра арматуры)

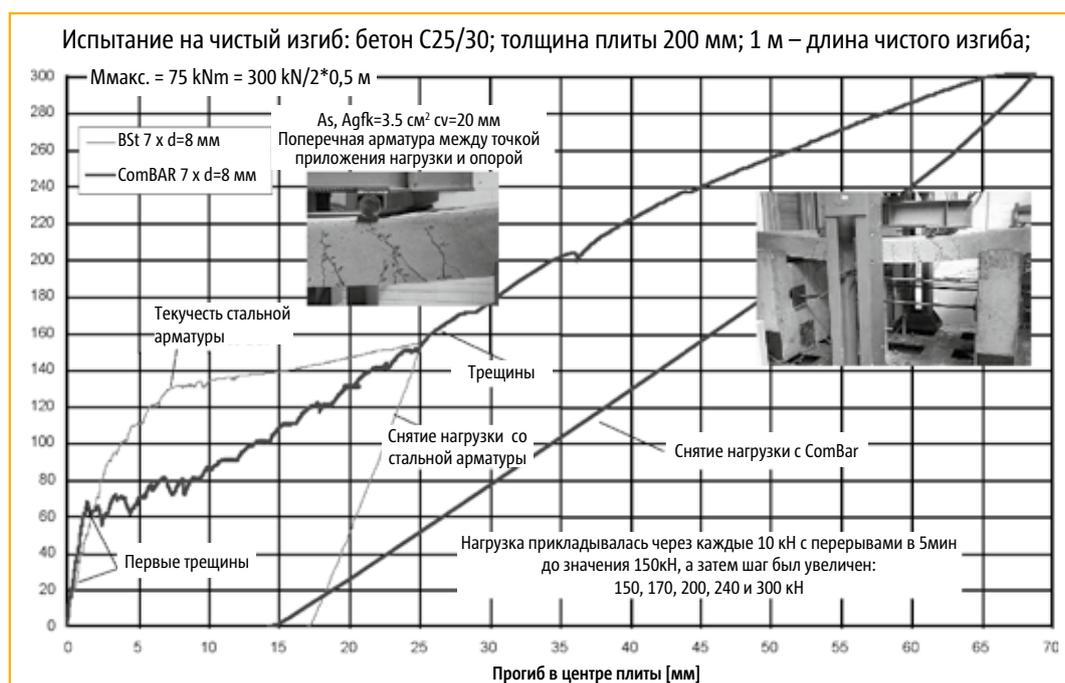
$$\text{erf. } A_{\text{ComBAR}^\circ} \cong \sqrt{\frac{200.000}{60.000}} A_{\text{BSt500}} = 1,83 A_{\text{BSt500}}$$

Schöck ComBAR®

Деформации

Деформации

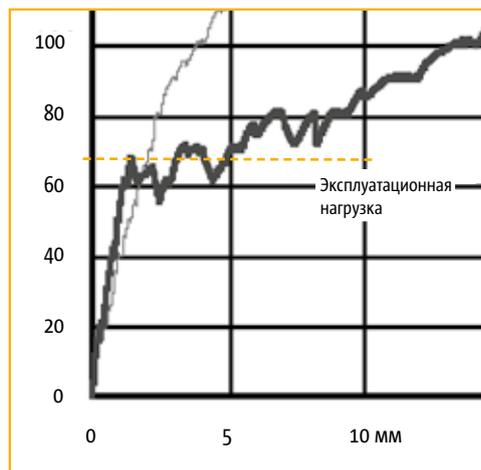
Модуль упругости неметаллической композитной арматуры ComBAR® ($E_f = 60\,000\text{Н/мм}^2$) сравнительно мал по сравнению с модулем упругости стальной арматуры. Необходимо учитывать этот факт при проектировании. Был проведен опыт в лабораторных условиях. Две идентичные бетонные плиты (2500x1000x 200 мм) были подвергнуты испытанию на чистый изгиб. Плита 1 была заармирована стальной арматурой 7 Ø 8 мм BSt 500, а плита 2 – неметаллической композитной арматурой ComBAR® 7 Ø 8 мм. Шаг арматуры и ее распределение в обеих плитах были одинаковыми.



Испытание на чистый изгиб: сравнение композитной арматуры ComBAR® и стальной арматуры BSt500

Максимальная нагрузка, воспринимаемая плитой, армированной неметаллической композитной арматурой ComBAR®, более чем в два раза превышает нагрузку, воспринимаемую плитой, армированной стальной арматурой BSt; а максимальный прогиб примерно в три раза выше.

Сразу же после образования первой трещины прогиб обеих плит был почти одинаков. При достижении значения эксплуатационной нагрузки (ок. $435\text{ Н/мм}^2/1,425 = 305\text{ Н/мм}^2$; 67 кN прессовой нагрузки) прогиб в плите, армированной ComBAR®, был примерно в 2,5 раза больше, чем у плиты, армированной стальной арматурой BSt. При 90% этой нагрузки (60 кN прессовой нагрузки) разность прогибов составляла от 1,5 до 2.



Увеличенная часть графика испытания на чистый изгиб

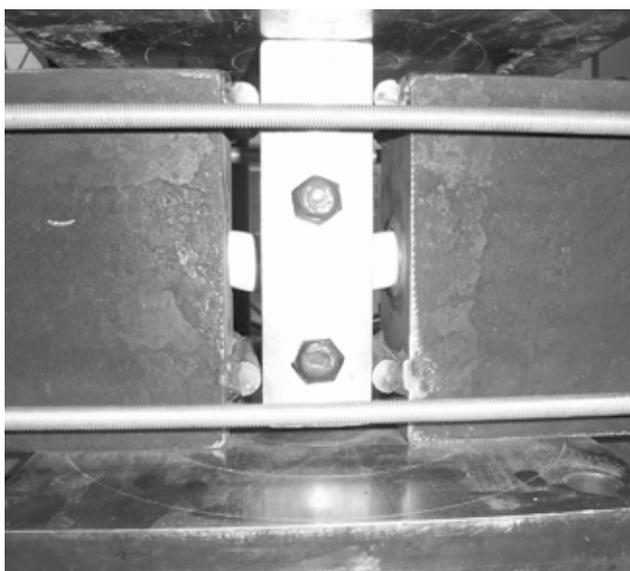
Schöck ComBAR®

Поперечный сдвиг

Поперечный сдвиг

Несущая способность при поперечном сдвиге образцов композитных анкеров ComBAR® была определена при испытании в лаборатории.

В модифицированном испытании на сдвиг согласно американским рекомендациям по проведению испытаний ACI 400.R3-04 метод тестирования В.4 были проверены образцы композитных анкеров ComBAR® диаметром 34 мм (внутренний диаметр без учета ребер – 32мм). В отличие от рекомендованных условий испытания между поверхностями сдвига был устроен промежуток в 20 мм.



Испытание на сдвиг образца композитного анкера ComBAR® диаметром 34 мм

Образцы расслаивались при нагрузке 42,5 кН и при напряжении на сдвиг 46,5 Н/мм².

При испытаниях забетонированных образцов композитных анкеров ComBAR® (предел прочности бетона при сжатии ок. 45 Н/мм²) были зафиксированы аналогичные напряжения при расслоении. Окончательное разрушение происходило, когда в шве был превышен предел прочности бетона при сжатии.

В испытаниях на изгиб подобное расслоение до сих пор не наблюдалось.

Выводы из результатов испытаний

- ▶ Требуемый минимум несущей способности на поперечный сдвиг не применяется для стекловолоконных анкеров.
- ▶ Композитные анкера ComBAR® диаметром Ø 32 мм должны проектироваться для максимального напряжения сдвига равного 15 МПа. В таком случае сдвигающая сила равна 12 кН. Длина анкера должна быть не менее 400мм.
- ▶ Для композитного анкера ComBAR® диаметром Ø 25 мм напряжения не должно превышать 7,5 кН, а длина должна быть не менее 200 мм.

Schöck ComBAR®

Температурное воздействие

Коэффициент теплового расширения

В образцах материала в диапазоне температур от 0 °С до 70 °С определялся как коэффициент осевого, так и коэффициент объемного теплового расширения:

Коэффициент теплового расширения	Schöck ComBAR®
осевой [1/К]	$0,6 \times 10^{-5}$
объемный [1/К]	$2,2 \times 10^{-5}$

Для сравнения: коэффициент теплового расширения бетона составляет от 0,5 до $1,2 \times 10^{-5}$ 1/К, в то время, как у стали – $1,0 \times 10^{-5}$ 1/К, коррозионностойкой стали – $1,5 \times 10^{-5}$ 1/К.

В конструкциях с применением композитной арматуры Schöck ComBAR® не возникает дополнительных внутренних напряжений и трещин, вызванных температурными перепадами, даже при испытаниях конструкций с расположенной близко к поверхности композитной арматурой ComBAR® и меняющимся влажностным и температурным режимами.

Температуры при эксплуатации

Максимально допустимая постоянная рабочая температура не должна превышать 40 °С. Значения, приведенные в документации на композитную арматуру Schöck ComBAR®, замерялись при комнатной температуре. Температурное воздействие при затвердении бетона не оказывает никакого влияния на арматуру Schöck ComBAR®. Уменьшения несущей способности не наблюдалось.

Если неметаллическая композитная арматура Schöck ComBAR® длительное время подвергается воздействию высоких температур, то следует учитывать указания на стр. 12. В этом случае инженеры фирмы Schöck охотно проконсультируют вас.

Поведение при низких температурах

Поведение композитной арматуры Schöck ComBAR® при экстремально низких температурах (до -40 °С) было изучено в сериях различных испытаний в Канаде. При этом было выявлено, что некоторые изменения свойств арматуры ComBAR® в бетоне при низких температурах являются незначительными и ими можно пренебречь.

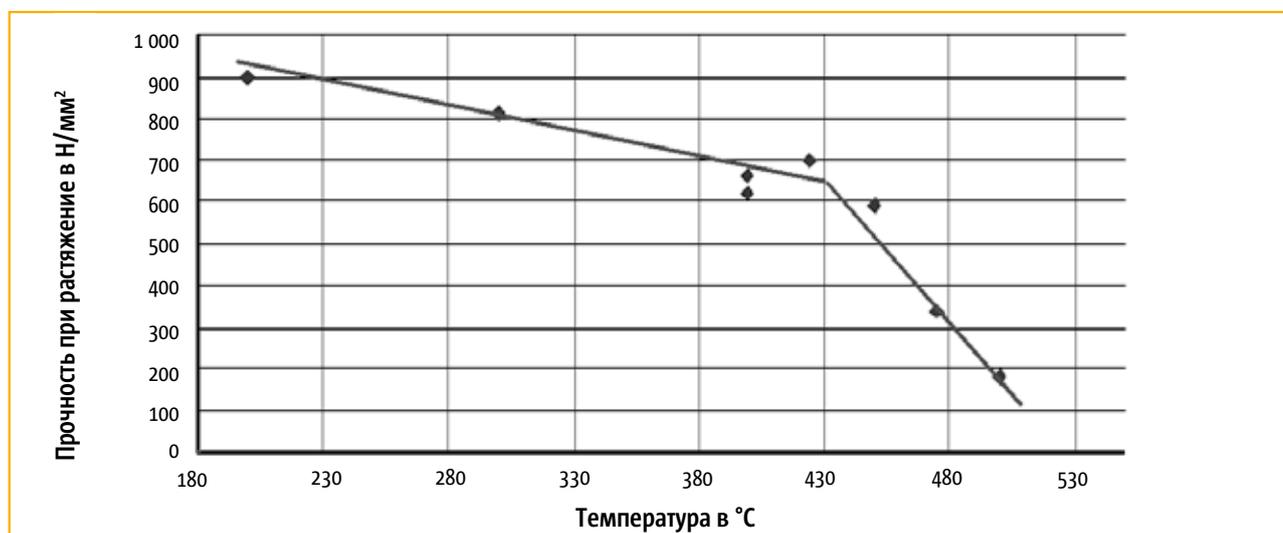
Schöck ComBAR®

Огнестойкость

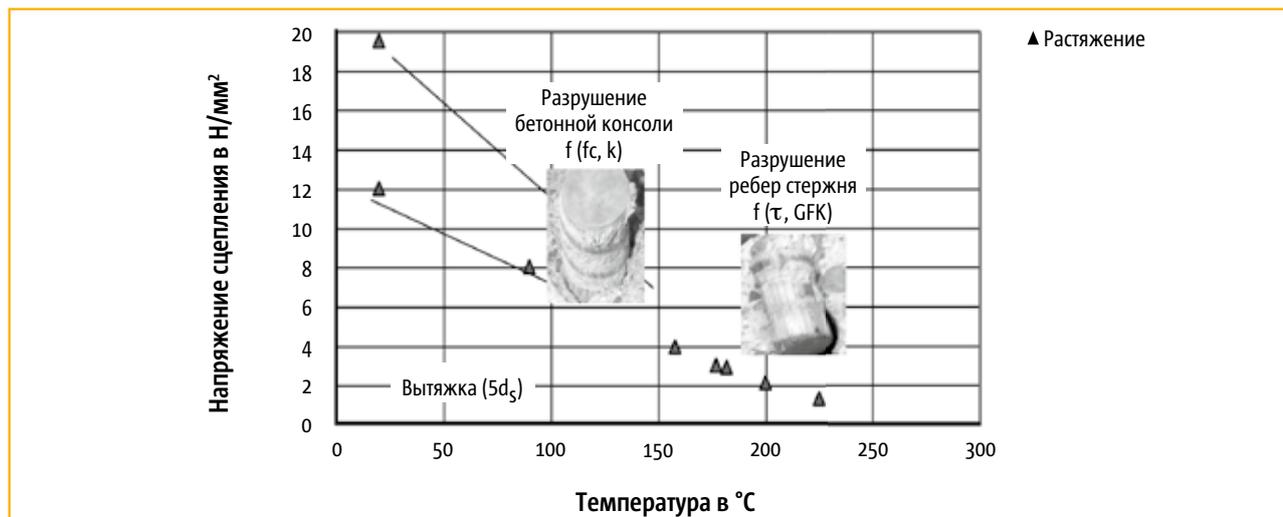
Огнестойкость

Синтетические смолы, применяемые для изготовления материала Schöck ComBAR®, являются стойкими при кратковременном воздействии температур до 200 °С, а применяемое стекловолокно размягчается (плавится) при температуре от 600 °С. При прямом воздействии пламени материал Schöck ComBAR® может воспламениться. Горение стержня продолжается всего несколько секунд до тех пор, пока на поверхности присутствует горючий материал. Материал не содержит никаких огнеупорных добавок.

Если к конструкциям с применением композитной арматуры Schöck ComBAR® предъявляются повышенные требования по огнестойкости, то они могут быть обеспечены, например, увеличением защитного слоя бетона или с помощью огнестойкой отделки. Классические способы обеспечения огнестойкости конструкций, применяемые к железобетонным конструкциям, могут также применяться и к конструкциям, усиленным композитной арматурой Schöck ComBAR®.



Зависимость прочности материала Schöck ComBAR® от температуры



Испытание на выдергивание в зависимости от температуры, бетон C25/30, Schöck Combar® d_S = 16 мм

Schöck ComBAR®

Огнестойкость

Защитный слой бетона для конструкций класса огнестойкости F90

Изотермы критических температур нагрева бетона применимы и для конструкций с применением композитной арматуры Schöck ComBAR®. Критическая максимальная температура для арматуры ComBAR® составляет 225 °С. При применении арматуры ComBAR® в бетонных конструкциях класса огнестойкости F30 необходим защитный слой бетона толщиной 30 мм.

При применении арматуры Schöck ComBAR® в бетонных конструкциях класса огнестойкости F90 необходим защитный слой толщиной 65 мм. Величина защитного слоя для других классов огнестойкости может быть проэкстраполирована по изотермам бетона, применяемого в конструкции. Конструкции с применением арматуры ComBAR® следует, по возможности, защищать от воздействия пламени с помощью огнестойких покрытий или отделок, что, в конечном счете, оказывается более экономичным.

Издатель: ООО «Шёкк»
Садовническая наб., 79, оф.303
115035 Москва
Российская Федерация
Телефон: +7 495-7880054

Дата выпуска: Апрель 2012

Авторские права: © 2009, Schöck Bauteile GmbH
Передача содержания данного документа
третьим лицам без письменного
разрешения компании Шёкк Баутайле
Гмбх зпрещена.
Все технические данные, чертежи и т.д.
охраняются законом о защите авторских
прав.

Компания сохраняет за собой право внесения технических изменений
Дата публикации: апрель 2012.

ООО «Шёкк»
Садовническая наб. 79, офис 303
115035, Москва
Российская Федерация
Телефон: +7 495-7880054
Факс: +7 495-7880029
Эл.почта: info@schoeck.ru
Web: www.schoeck.ru

