

МРНТИ 67.11.59

Ж.Е. Ескермесов¹ – основной автор, | ©
Б.А. Карымсаков², И.К. Дуйсембаев³¹PhD, ²Преподаватель, ³Магистрант

ORCID

¹<https://orcid.org/0000-0001-6464-2748> ²<https://orcid.org/0000-0002-9617-3066>^{1,2,3}Таразский региональный университет имени М.Х. Дулати,
г. Тараз, Казахстан¹zhe.eskermesov@dulaty.kz<https://doi.org/10.55956/YRWY2975>

ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНАЯ ВЫСОКОПРОЧНАЯ СТАЛЬ И ПОЛИПРОПИЛЕНОВЫЙ ФИБРОБЕТОН

Аннотация. В работе испытаны высокопрочные бетоны со стальными и полипропиленовыми волокнами. Стальные волокна улучшают энергию разрушения и силу изгиба при температуре окружающей среды. При высоких температурах наблюдается снижение энергии разрушения и предельная прочность при изгибе.

Ключевые слова: бетон, сталь, здание, полипропилен, прочность на изгиб, энергия разрушения.



Ескермесов, Ж.Е. *Высокотемпературная высокопрочная сталь и полипропиленовый фибробетон [Текст] / Ж.Е. Ескермесов, Б.А. Карымсаков, И.К. Дуйсембаев // Механика и технологии / Научный журнал. – 2024. – №2(84). – С.122-128. <https://doi.org/10.55956/YRWY2975>*

Введение. Известно, что бетон – это материал, у которого механические свойства улучшаются при комнатной температуре, но некоторые его свойства улучшаются при воздействии высоких температур [1-3]. Основные температурные эффекты связаны с химическими изменениями и выходом влаги в цементной среде, при образовании там микротрещин из-за температурных градиентов и деформационной несовместимости между заполнителями и цементной пастой.

Добавление стальных волокон в бетон повышает гибкость, энергопоглощающую способность и жесткость [4]. Однако энергопоглощающая способность является основным свойством материалов, полученных с помощью армирующих волокон [5,6].

Условия и методы исследования. В данном исследовании изучается высокопрочный бетон, армированный волокнами для повышения прочности и пластичности при повышенных температурах. Добавление стальных и полипропиленовых волокон в бетон является одним из характеристик, значительно повышающих прочность и пластичность, уменьшающих растрескивание, улучшающих гибкость и увеличивающих поглощение энергии. Поэтому в данном исследовании оценивалась энергия разрушения различных высокопрочных фибровых материалов при низких и высоких температурах. Исследовались пять составов бетона, содержащих два типа стальных волокон (3.0 D и 5.0 D) (45,0 кг/м³ и 75,0 кг/м³) и 2 кг/м³

полипропиленовых волокон. Энергия разрушения бетона измерялась при различных температурных уровнях (температура окружающей среды 300°C, 500°C и 700°C), с предварительной нагрузкой и без нее.

Процедура была выбрана следующая

1. Сначала взвешивают сырьё.
2. Затем укладывается бетонная смесь с заполнителем и цементом плюс 20% воды.

3. После этого добавляют более 40% воды в суперпластификатор в соответствии с требованиями к бетону.

4. Также добавляют известняковый заполнитель 20% воды, необходимой для бетонной смеси.

5. Стальные и полипропиленовые волокна добавляются вручную, понемногу, пока не будет достигнута хорошая однородность.

6. Наконец, добавляются оставшиеся 20% воды и продолжается перемешивание до получения однородной пасты.

Все бетонные смеси были изготовлены в один и тот же день, чтобы свести к минимуму возможное влияние температуры и влажности, которые могли бы в той или иной степени повлиять на составы бетона. Содержание влаги оказывает некоторое влияние на поведение бетона при повышенных температурах. Через двадцать восемь дней после заливки бетона измеряли содержание влаги в различных составах бетона. Были получены результаты для влажности RC, 3D_45, 3D_45, 5D_45 и 5D_75, 1,49%, 1,55%, 1,53%, 1,45% и 1,32% соответственно. Для каждого состава бетона оценивалась прочность на сжатие при температуре окружающей среды и в первый и последний день экспериментальных испытаний.

Экспериментальная программа включала пять различных составов высокопрочного фибробетона. Экспериментальная программа состояла из 97 испытаний на изгиб, проведенных при температуре окружающей среды и повышенной температуре.

В первом испытании на изгиб 57 образцов были испытаны без начальной нагрузки; во втором испытании на изгиб 40 образцов были испытаны для оценки влияния предварительной нагрузки на прочность при изгибе при повышенных температурах. Начальная предварительная нагрузка составляла 30% от средней предельной прочности бетона на изгиб при комнатной температуре. Было проведено три испытания для каждой часто используемой комбинации параметров.

Модель была изготовлена, сформирована и измерена как квадратная бетонная балка с поперечным сечением 150,0×150,0 мм и длиной 600 мм. Максимальный размер заполнителя составлял 18 мм, а длина волокон не превышала 60 мм. Бетон перемешивался в бетономешалке и заливался в квадратные формы для колонн. Во время уплотнения формы заполняются и шлифуются. Уплотнение проводилось на вибростоле.

Образцы извлекались через 36-48 часов. Затем образцы были оставлены на 2-3 недели при температуре 20°C (±5°C) при лабораторных условиях ниже 60% (±10%). В этот период образцы разрезали пилой. Каждый образец поворачивали на 90,0° относительно поверхности отливки и разрезали до середины ширины образца (рис. 1). Ширина образца составляла 3 мм, а глубина – 25,0 мм.

Затем образцы выдерживались при температуре 20°C (±5°C), R до готовности к испытаниям; Н хранились при ≤ 85% (±10%).

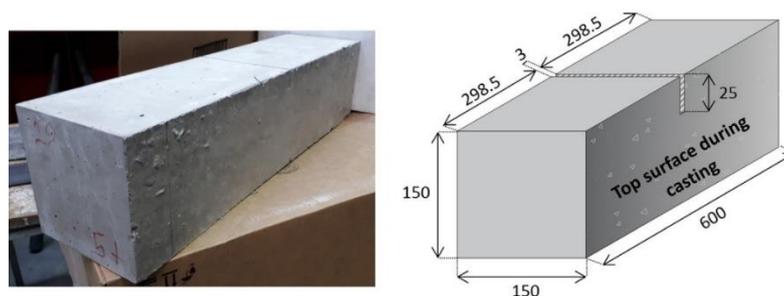
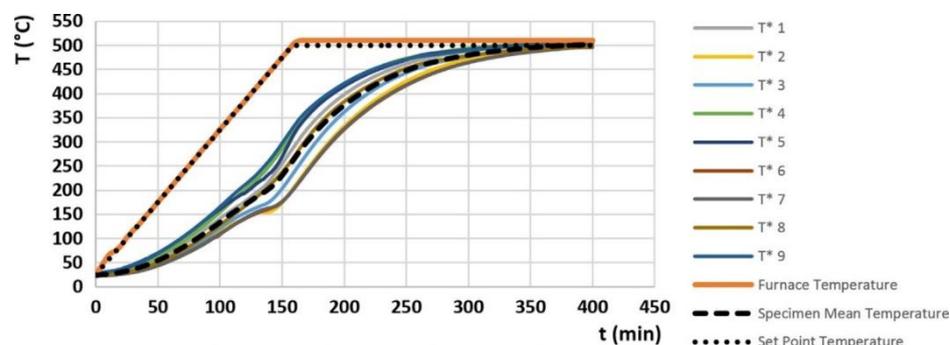
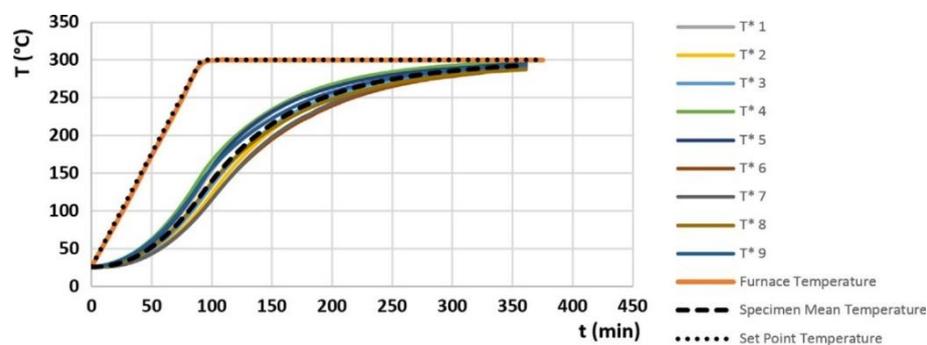


Рис. 1. Размер образца (мм) и место разреза

Для испытаний на термический изгиб без предварительной нагрузки образцы помещают в печь и нагревают до заданной температуры со скоростью $3^{\circ}\text{C}/\text{в}$ минуту. После достижения требуемой температуры образец выдерживается при этой температуре в течение 60 минут для получения однородной массы. Затем образец нагружают в режиме управления сдвигом со скоростью $0,005$ м/с до тех пор, пока нагрузка не достигнет нуля или не менее 10% от предельной нагрузки, определенной при испытании на изгиб.

Результаты исследования и их обсуждение. На рисунке 2-4 приведены примеры изменения температуры со временем для образцов, нагретых до 300°C , 500°C и 700°C . Графики подтверждают, что все термопары достигли 300°C , 500°C и 700°C через 360 минут, 400 минут и 450 минут соответственно. Эти графики подтверждают, что температура (t^*) всех термопар на поверхности бетона достигла 300°C , 500°C и 700°C через 360, 400 и 450 минут соответственно.

Рис. 2. Изменение температуры модели 3d_45_s24 для серии 300°C Рис. 3. Изменение температуры в модели 5d_45_s19 для серии 500°C

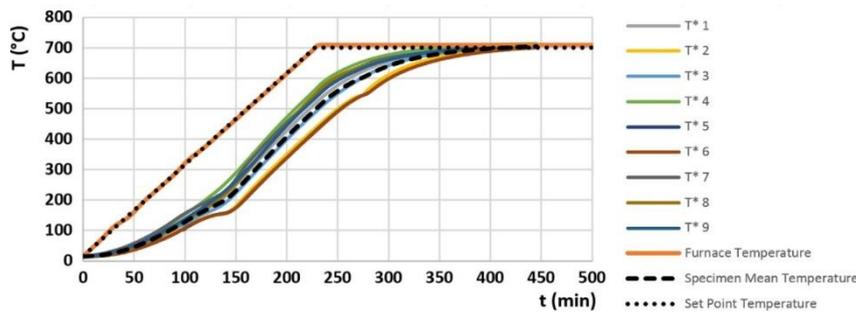


Рис. 4. Изменение температуры для серии 700°C для модели 5d_75_s14

Что касается предельных нагрузок (рис. 5), то повышение температуры приводит к общему снижению F_{um} для всех компонентов, независимо от типа и размера волокон, за исключением компонента 3d_45, полученного в серии испытаний при 300°C.

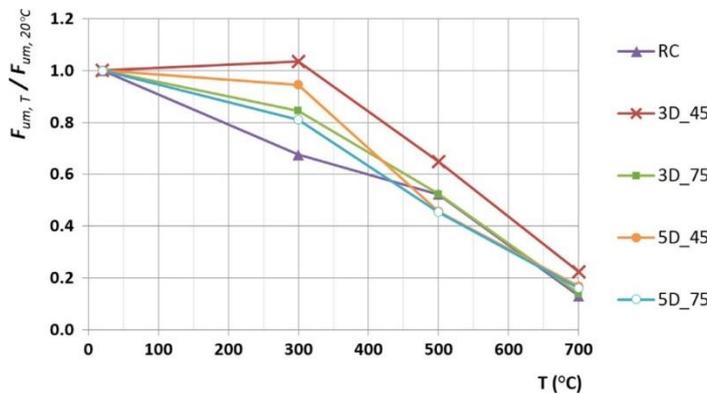


Рис. 5. Относительная предельная нагрузка в зависимости от температуры для каждого компонента бетона в испытании на изгиб без предварительного сжатия

В серии испытаний при 300°C относительная энергия разрушения бетона RC, 3d_75, 5d_45 и 5d_75 незначительно снизилась на 32%, 16%, 6% и 19% соответственно (рис. 6). Однако относительная прочность на сжатие бетонного компонента 3d_45 увеличилась на 3%.

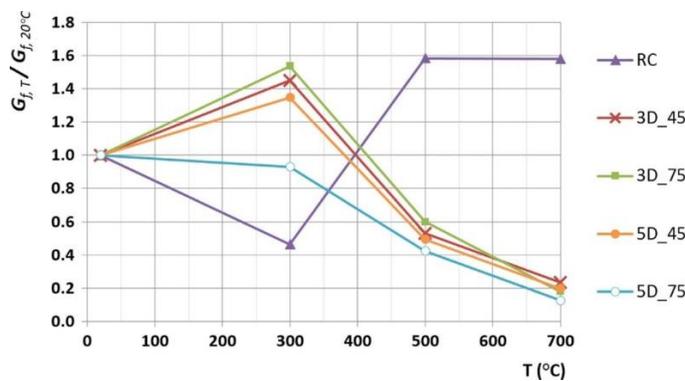


Рис. 6. Относительная энергия разрушения в зависимости от температуры для каждого компонента бетона в испытаниях без предварительной нагрузки.

Относительная прочность F_{up} всех бетонных композиций снизилась во многих испытаниях при 500°C. Это связано с тем, что при 400°C относительная прочность на сжатие водородных композиций снизилась на 3%. Это связано с тем, что при 400°C гидроксид кальция начинает обезвоживаться и образовывать пары, что значительно снижает прочность бетона. Так, для бетонных составов RC, 3d_45, 3d_75, 5d_45 и 5d_75 F_{up} составил 52%, 65%, 52%, 46% и 57% от значения комнатной температуры соответственно.

Во многих испытаниях при температуре 700°C относительные значения F_{am} были еще ниже: 13, 22, 14, 17 и 16% для бетонов RC, 3d_45, 3d_75, 5d_45 и 5d_75 соответственно.

Для серии испытаний при температуре 500 °C наблюдалось снижение относительного G_{fm} практически для всех бетонных композиций. Таким образом, G_{fm} составил 53%, 60%, 50% и 43% от значения при температуре окружающей среды, соответственно, для бетонных композиций 3D_45, 3D_75, 5D_45 и 5D_75. Для состава RC наблюдалось увеличение относительного G_{fm} на 58%. В этом случае с повышением температуры тип разрыва цементной матрицы становится менее хрупким, и, следовательно, площадь под кривой силы – смещения увеличивается, что приводит к увеличению G_{fm} . Однако в абсолютном значении этот выигрыш практически незначителен.

Для серии испытаний при температуре 700°C относительный G_{fm} снизился еще больше, составив величину 24%, 18%, 20%, 13%, соответственно для бетонных композиций 3D_45, 3D_75, 5D_45 и 5D_75.

Заключение. В данной статье представлены результаты экспериментального исследования по оценке прочности при изгибе и энергии разрушения при температуре окружающей среды и повышенных температурах (300°C, 500°C и 700°C).

Речь идет о бетонах, армированных полипропиленовыми и стальными волокнами. Основной целью исследования было оценить влияние различных параметров, таких как: влияние температуры, добавление стальной фибры, тип стальной фибры, размер стальной фибры и эффект предварительной нагрузки на прочность при изгибе и энергию разрушения испытываемого бетона. По результатам данного исследования можно сделать следующие выводы:

- прочность на изгиб и энергия разрушения бетона снижаются с повышением температуры. Это снижение происходит как в испытаниях с предварительной нагрузкой, так и без нее, и выше для образцов с предварительной нагрузкой. Результаты испытаний показывают, что прочность при изгибе и энергия разрушения бетонного состава снизились на 11,7% и 22,5% при 300°C и на 11,6% и 22,6% при 500°C для образцов высокого давления, соответственно, под воздействием возмущающего воздействия предварительной нагрузки 3d_45. При испытании при температуре 700°C образцы с предварительной нагрузкой разрушились до достижения этой температуры;

- добавление стальных волокон увеличило прочность на изгиб и энергию разрушения бетона по сравнению с составами без стальных волокон;

- сравнение фибры плотностью 75кг/м³ с одинаковой геометрией, но разным содержанием стальных волокон показало лучшие результаты по прочности на изгиб и энергии разрушения, чем состав со стальной фиброй плотностью 45 кг/м³;

- результаты, полученные при 300°C и 500°C для большинства испытываемых материалов, следующие: при предварительном растяжении

первых образцов наблюдалась общая тенденция к снижению предельной прочности при изгибе и энергии разрушения;

– реакция бетона на размягчение, особенно после пиковой нагрузки, также смягчается с повышением температуры. Это также наблюдалось для эталонного бетона без стальных волокон;

– с другой стороны, трещины в образцах со стальными волокнами довольно вязкие, другими словами, растрескивание бетона можно лучше контролировать, добавляя в него стальные волокна. После достижения максимальной прочности на изгиб и в конце экспериментальных испытаний (в случае больших образований) фибры разрешалось соединить две части образца.

В итоге, несмотря на различные эффекты, добавление стальных волокон (3D и 5D) увеличивает гибкость и энергопоглощающую способность композитного материала при испытательных дозах (энергия разрушения и предельная прочность на изгиб 45 и 75 кг/м³), при комнатной температуре, 300, 500 и 700°C.

Список литературы

1. Тимашев, В.В. Влияние физической структуры цемента на его прочность [Текст] // Цемент. – 1978. – №2. – С. 6-8.
2. Neville, A.M., Brooks, J.J. Concrete technology. – Prentice Hall, 2010. – 392 p.
3. Жакипбеков, Ш.К. Особенности твердения модифицированных бетонов на основе местных вяжущих веществ [Текст] / Ш.К. Жакипбеков, Д.Ш. Жакипбеков // Технологии бетонов. – 2014. – №10. – С. 10-11.
4. Рунова, Р.Ф. Особенности структурообразования вяжущего на основе высокоуглеродистых зол [Текст] / Р.Ф. Рунова, В.П. Плохий, А.Л. Дехно, А.Б. Яменко // Цемент. – 1995. – №3. – С. 38-41.
5. Ohta A., Sugiyama T., Tanaka Y. Fluidizing mechanism and application of polycarboxylate-based superplasticizers //Special Publication, 1997. Vol. 173. P. 359-378.
6. Каприелов, С.С. Модифицированные бетоны нового поколения: реальность и перспектива [Текст] / С.С. Каприелов, В.Г. Батраков, А.В. Шейнфельд // Бетон и железобетон. – 1999. – №6. – С. 6-10.

Материал поступил в редакцию 11.04.24.

Ж.Е. Ескермесов¹, Б.А. Карымсаков¹, И.К. Дүйсембаев¹

¹М.Х. Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті, Тараз қ., Қазақстан

ЖОҒАРЫ ТЕМПЕРАТУРАДАҒЫ ИІЛУ БЕРІКТІГІ ЖОҒАРЫ БОЛАТ ЖӘНЕ ПОЛИПРОПИЛЕН ФИБРОБЕТОНЫ

Аңдатпа. Жұмыста болат және полипропилен талшықтары бар беріктігі жоғары бетон сыналды. Болатты талшық қоршаған орта температурасында жарықшақтардың энергиясын және иілу беріктігін жақсартады. Жоғары температурада сыну энергиясы мен иілудің соңғы беріктігі төмендейді.

Тірек сөздер: бетон, болат, ғимарат, полипропилен, иілу беріктігі, сыну энергиясы.

J.E. Eskermesov¹, B.A. Karymsakov¹, I.K. Duysembaev¹

¹M.Kh. Dulaty Taraz Regional University, Taraz, Kazakhstan

**HIGH TEMPERATURE, HIGH STRENGTH STEEL AND
POLYPROPYLENE FIBER CONCRETE**

Abstract. In this study, high strength concrete with steel and polypropylene fibers was tested. Steel fibers increase the fracture energy and flexural strength at room temperature. At higher temperatures, the fracture energy and ultimate flexural strength decrease.

Keywords: concrete, steel, building, polypropylene, bending strength, fracture energy.

References

1. Timashev, V.V. Vliyaniye fizicheskoy struktury tsementa na yego prochnost' [The influence of the physical structure of cement on its strength] // Tsement [Cement], 1978. No. 2. P. 6-8, [in Russian].
2. Neville, A.M., Brooks, J.J. Concrete technology. – Prentice Hall, 2010. – 392 p.
3. Zhakipbekov, SH.K. Zhakipbekov, D.SH. Osobennosti tverdeniya modifitsirovannykh betonov na osnove mestnykh vyazhushchikh veshchestv [Features of hardening of modified concrete based on local binders] // Tekhnologii betonov [Concrete technologies], 2014. No. 10. P. 10-11, [in Russian].
4. Runova, R.F. Plokhyy, V.P., Dekhno, A.L., Yamenko, A.B. Osobennosti strukturoobrazovaniya vyazhushchego na osnove vysokouglerodistykh zol [Features of structure formation of binders based on high-carbon ash] // Tsement [Cement], 1995. No. 3. P. 38-41, [in Russian].
5. Ohta A., Sugiyama T., Tanaka Y. Fluidizing mechanism and application of polycarboxylate-based superplasticizers // Special Publication, 1997. Vol. 173. P. 359-378.
6. Kapriylov, S.S. Batrakov, V.G., Sheynfel'd, A.V. Modifitsirovannyye betony novogo pokoleniya: real'nost' i perspektiva [New generation modified concretes: reality and prospects] // Beton i zhelezobeton [Concrete and reinforced concrete], 1999. No. 6. P. 6-10, [in Russian].