

Особенности получения светопрозрачного бетона

А.И. Кравцов, С.А. Дергунов, С.А. Орехов

Оренбургский государственный университет

Аннотация: Статья посвящена анализу способов получения светопрозрачного бетона, материала, который объединяет в себе прочность бетона и способность пропускать свет. Кратко рассматривается история развития светопрозрачного бетона, начиная с первых экспериментов и до современных достижений в этой области. Основное внимание уделяется составу материала, где к традиционным компонентам добавляются оптические волокна, создающие эффект прозрачности и позволяющие использовать бетон при реализации новых архитектурных решений. Производство светопрозрачного бетона требует особого подхода, включая точное распределение волокон и их фиксацию в матрице, что обеспечивает равномерное светораспределение. Обсуждаются различные методы внедрения волокон в бетон, их преимущества и сложности, а также потенциальные направления развития технологий и применения материала в строительстве.

Ключевые слова: светопрозрачный бетон, оптическое волокно, технология производства, гипсоцементное вяжущее.

Светопрозрачный бетон - инновационный материал, сочетающий традиционные свойства бетона и прозрачность, открывает новые возможности в архитектуре и строительстве. История этого материала начинается с 1920-х годов [1]. В 1965 году Джеймс Н. Лоу в Лондоне, в Англии, разработал технологию создания бетонных панелей с встроенными элементами из цветного стекла [2]. Но настоящий прорыв произошел в начале 2000-х благодаря работам венгерского архитектора Арона Лозонци, который представил миру первый коммерчески доступный светопрозрачный бетон – LiTraCon [3,4].

Светопрозрачный бетон, включающий оптические волокна, улучшает эстетические качества бетонных конструкций и открывает новые возможности для архитектурного дизайна. Его использование может революционизировать подход к организации пространства и энергоэффективности, снижая потребление электроэнергии и увеличивая безопасность движения пешеходов в темное время суток [5].

Производство светопрозрачного бетона отличается от обычного бетона наличием светопроводящих элементов, которые могут быть реализованы в различных формах, включая:

- как отдельные волокна, так и собранные в жгуты;
- 3D структуры;
- крупные плоские или круглые детали, которые могут формироваться отдельно или в теле бетона;
- сетчатые элементы, образованные плетением, склеиванием или путем заливки полимера в поры бетона.

Главная сложность заключается в формировании оптоволоконной структуры внутри бетона.

Самый, наверное, простой способ - это укладка волокон и бетонной смеси слоями с последующим вибрированием. В этом случае есть опасность, что слои сместятся, и у волокон будет утерян доступ к противоположным поверхностям изделия.

Один из наиболее известных способов закрепления волокон включает их установку в перфорированной матрице, что обеспечивает необходимую наполненность. Этот метод трудоемок, так как каждое волокно должно проходить через как минимум два отверстия. В патенте CN111168834A [6] предлагается усовершенствование этого метода, включающее размещение волокон в пенопластовой матрице перед заливкой бетона. В другом случае (пат. CN102758496A) [7] волокна, собранные в пучок, раздвигаются при помощи электрических сил отталкивания и замоноличиваются в пазах фиксации, которые затем размещаются на противоположных бортах формы.

В патенте CN105839844A [8] предлагается использовать специальный шаблон и петли для удержания пучка волокон в натянутом состоянии, в другом случае (см. пат. CN212445694U) [9] предлагается формировать оптоволоконную матрицу при помощи двух сеток с отверстиями. Распределение

большого числа волокон производится пропуская весь объем сначала через верхнюю потом через нижнюю сетку.

Для повышения производительности по укладке оптоволокна в формы предлагается использовать намотку на различные упоры или рамки. Машина для формирования спиральной нити из светопроводящего волокна обеспечивает быструю настройку параметров расположения волокон (патент CN202107377U) [10]. Светопроводящее волокно наматывается на рамку размером 1000*600 мм, расстояние между волокнами составляет 4 мм, а диаметр волокна - 0,5 мм. Полученные рамки можно использовать для размещения в формах для изготовления светопрозрачных изделий из бетона. В патенте CN102848451A [11] на соответствующие упоры размещается своего рода полотно содержащее оптические волокна, при этом положение упоров соответствует заданному рисунку свечения. Подобную схему использует и устройство (пат. CN108818918A) [12] для ручной укладки волокон.

В соответствии с другой схемой (пат. CN102166780A) [13] предлагается использовать варианты плетения волокон в виде трехмерной или двухмерной сетки. Для упрощения укладки волокна используются также различные виды рамок (пат. CN202107377U) [14], а в патенте CN103603458A [15] описаны как сами рамки, в которых зажимается волокно, так и устройство для их воспроизводства.

Оригинальным является способ (пат. CN104827565A) [16] предполагающий покрытие волокон слоем раствора их разрезку и затем укладку в форму для дальнейшего замоноличивания бетоном.

Достаточно много технологических решений связано с использованием для создания оптоволоконной структуры 3D-печати. Так, в патенте CN111018458A [17] предлагается использовать печать для создания трехмерных сеток, которые впоследствии заливаются самоуплотняющимся

раствором в форме. В патенте CN111015894А [18] предлагается использовать 3D-печать как основу для получения светопрозрачных изделий декоративного характера.

Рассмотренные способы показывают многообразие технологических решений применимых к процессу производства светопрозрачного бетона. Выбор наиболее оптимального варианта должен основываться на технологичности и экономической целесообразности.

Общие принципы некоторых из описанных выше технологических решений были опробованы на практике.

Для изготовления светопрозрачного бетона был принят состав на основе гипсоцементного вяжущего, обеспечивающий достаточную прочность (около 260 кгс/см²) и приемлемые сроки схватывания 10-15 минут.

Такой режим твердения позволит обеспечить возможность ускоренной распалубки и обработки изделий.

Для первого способа были заготовлены отрезки прозрачного оргстекла, которые утапливались в уложенную в форму высокоподвижную смесь и удерживались там за счет быстрого в течение 10-12 минут схватывания смеси. Далее изделия твердели в нормальных условиях и подвергались шлифовке для полного проявления эффекта светопропускания.



Рис. 1. – Образец с установленными прозрачными элементами до и после шлифовки

Второй способ имитировал использование оптоволокна в составе сетки т.к. для изготовления сетки необходимо специальное оборудование, для

имитации процесса, отрезки оптоволокна были вплетены в готовую малярную ленту (сетку из стекловолокна см. рис. 2а). Содержание волокна 3,5% по объёму или 40 кг/м³.

Далее сетка укладывалась в форму и заливалась подвижной смесью. После затвердевания образцы шлифовали, чтобы обнажить концы оптических волокон. Вид готовых изделий показан на рис. 2б. Нужно отметить, что при таком способе установки тонкого волокна возможно его смещение.



а) малярная лента (сетка) с вплетенными волокнами, б) формы с уложенной сеткой, в) готовое изделие

Рис. 2. –Этапы получения изделий с сеткой из оптоволокна

При реализации третьего способа сетку с оптическими волокнами изготавливали, приклеивая их к основе из нескольких натянутых отрезков лески (см. рис. 3а). Оптические волокна приклеивали поперёк моментальным клеем.

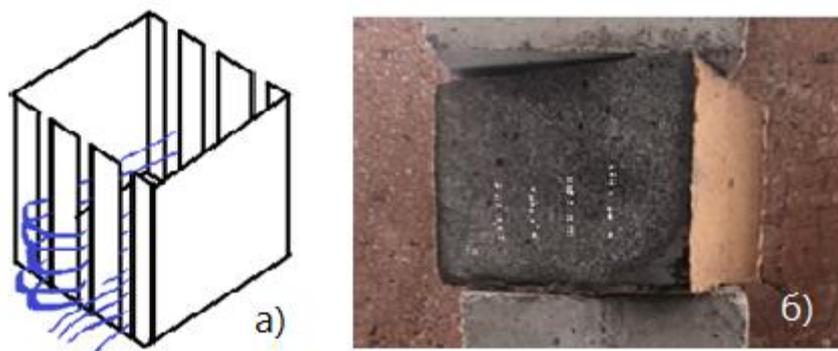


а) леска с приклеенными оптоволоконными, б) образец после шлифовки

Рис. 3. – Образец с сеткой по третьему способу

Дальнейшие операции аналогичны со вторым способом. После затвердевания образцы шлифовали для обнажения концов волокон (см. рис. 3б)

Четвёртый способ предполагает установку оптического волокна путем намотки на упоры формы в данном случае в прорези.



а) схема укладки волокон в прорези формы, б) образец после шлифовки
Рис. 4. Образец с оптоволоконном, уложенным в прорези формы

После намотки требуемого количества витков заливается бетонная смесь и по достижении требуемой прочности производится шлифовка.

Анализ способов получения светопроницаемого бетона позволил сделать следующие выводы:

- способ с использованием крупных светопроводящих элементов наиболее простой с точки зрения формирования оптоволоконного каркаса, однако в промышленных масштабах возможны проблемы с закреплением этих элементов в требуемом положении и перерасход полимера;

- применение оптоволоконна в виде сеток - способ более технологичный, но требует наличия дополнительного оборудования по изготовлению сеток, неважно, будут они получены плетением или склеиванием;

- вариант с намоткой оптоволокна на упоры формы или на специальные рамки предполагает усложнение конструкции форм и процессов сборки и распалубливания. Также сложным представляется достижение высокой насыщенности массива бетона оптоволокном, которая может быть ограничена конструкцией намоточного устройства и расположением упоров.

В общем случае для всех видов формирования оптоволоконного каркаса характерны необходимость в шлифовке изделий, а в некоторых случаях распиливание их на плиты, а также наличие отходов оптоволокна.

Литература (References)

1. Liese P. Transparent or translucent building block. Patent for invention № US597395A. 1922. URL: patentimages.storage.googleapis.com/05/dc/db/50ca1e5d6ab10e/US1548619.pdf.
2. Chiadighikaobi P. C., Adegoke M. A., Kharun M., Paul, V. J., Abu Mahadi M. I., Finbarrs-Ezema B. A Review of the Structural Properties of Translucent Concrete as Sustainable Material // The Open Construction & Building Technology Journal, 2023, V. 17, №. 1. URL: openconstructionbuildingtechnologyjournal.com/VOLUME/17/ELOCATOR/e18748368268119/FULLTEXT/.
3. Valambhiya H. B., Tuvar T. J., Rayjada P. V. History and case study on light transmitting concrete //J. Emerg. Technol. Innov. Res. – 2017. – V. 8. – №. 1.- pp. 22-30.
4. Pilipenko A., Bazhenova S., Kryukova A., Khapov M. Decorative light transmitting concrete based on crushed concrete fines // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – IOP Publishing, 2018. – V. 365. – №. 3. – p. 032046.
5. Saleem M., Elshami M. M., Najjar M. Development, testing, and implementation strategy of a translucent concrete-based smart lane separator for

increased traffic safety //Journal of Construction Engineering and Management. – 2017. – V. 143. – №. 5. – p. 04016129.

6. Mu L., Li X., Lin J., Chen C., Yang D., Guan X. Method for manufacturing light-transmitting concrete member. Patent for invention № CN111168834A. 2018. URL: patentimages.storage.googleapis.com/af/4c/ab/35d3a57b1183ba/CN111168834A.pdf.

7. Yang W., Wang J., Wu J., Wu X., Deng X., Liu X. Method for preparing light-transmitting concrete. Patent for invention № CN102758496A. 2012. URL: patentimages.storage.googleapis.com/4f/7b/54/2436d5b606076f/CN102758496A.pdf.

8. Zhao G., Xie L., Jin L., Liu C. Prefabricated light-transmitting concrete member and manufacturing method thereof. Patent for invention № CN105839844A. 2016. URL: <https://patentimages.storage.googleapis.com/1c/ab/40/afe7499908811c/CN105839844A.pdf>.

9. Zhong C., He L. Light-transmitting concrete slab mold and production line. Patent for invention № CN212445694U. 2020. URL: patentimages.storage.googleapis.com/ad/81/9a/d683e36d030501/CN212445694U.pdf.

10. Tao M., Yang X. Optical fiber winding machine. Patent for invention № CN202107377U. 2022. URL: patentimages.storage.googleapis.com/fc/fc/62/d8b8c67c156733/CN202107377U.pdf.

11. Li Y., Xu Z., Guo H. Method for producing light transmitting concrete with light transmitting mode design. Patent for invention № CN102848451A. 2012. URL:

patentimages.storage.googleapis.com/01/d4/ad/ae4d392312e225/CN102848451A.pdf.

12. Xu T. Insert the jig of optical fiber manually for non-light tight concrete Abstract. Patent for invention № CN108818918A. 2018. URL: patentimages.storage.googleapis.com/e9/1f/f2/c838d51ab2795d/CN108818918A.pdf.

13. Li Y., Xu Z., Jin C., Gu Z., Bao Z. Method for preparing light-transmitting concrete by spinning optical fiber technology. Patent for invention № CN102166780A. 2011. URL: patentimages.storage.googleapis.com/9d/58/23/8f88fbce01fc5b/CN102166780A.pdf.

14. Tao M., Yang X. Optical fiber winding machine: Patent for invention № CN202107377U. 2011. URL: patentimages.storage.googleapis.com/fc/fc/62/d8b8c67c156733/CN202107377U.pdf.

15. Zhou Z., He J., Wang J. Engineering construction method and construction equipment for transparent concrete. Patent for invention № CN103603458A. 2013. URL: patentimages.storage.googleapis.com/db/56/b0/548146f6096050/CN103603458A.pdf.

16. Liu L., Yang W., Wu Y. Light-penetrating concrete preparation process based on optical fibers wrapped with mortar. Patent for invention № CN104827565A. 2015. URL: patentimages.storage.googleapis.com/d6/9b/47/a108c5318580b7/CN104827565A.pdf.

17. Liu F., Yu H. Inorganic cementing material light-transmitting building block based on 3D printing transparent resin and preparation method thereof: Patent for invention № CN111018458A. 2019. URL:



patentimages.storage.googleapis.com/14/75/b0/6c88e5b3074dc3/CN111018458A.pdf.

18. Liu F., Yu H. Special-shaped light-transmitting concrete block based on 3D printing technology and preparation method thereof: Patent for invention № CN111015894A. 2019. URL: patentimages.storage.googleapis.com/dd/77/a7/6eb6d169591aa4/CN111015894A.pdf.

Дата поступления: 23.03.2024

Дата публикации: 1.05.2024