



Shrinkage of expanded clay concrete: A review

Rzhevutskaya, V.A.¹

¹ Belarusian-Russian University, Mogilev, Belorussia

* valeriarzhevuckaya@gmail.com

Keywords:

expanded clay concrete, lightweight-concrete, claydite-concrete, shrinkage, modulus of elasticity, cracking, coarse aggregate, claydite, additives

Abstract:

The review of the concrete mix components on the shrinkage strain of expanded clay concrete (claydite-concrete) has presented. An analytical review of various authors in the shrinkage strain investigation of claydite-concrete is given. The influence variants of coarse and fine aggregate, sand, cement, water-cement ratio, and additives on shrinkage deformations are considered. Besides, effective strategies to reduce shrinkage by immersing claydite in water for 24 hours before investigation and options for various additives are considered. Based on the analytical analysis, it was concluded if one or several components of the concrete mix change, the shrinkage deformation can be differed by 2 times and, respectively, affect the concrete strength characteristics, durability, and crack formation. Prospects for future research on Belarusian materials are described in general terms.

1 Введение

По результатам исследований многих авторов при одних и тех же составляющих бетонной смеси деформации усадки могут отличаться в 2 раза [1-6]. Значения конечных деформаций усадки керамзитобетона наблюдаются в значительных пределах, они могут составлять 0,3...1 мм/м [7].

Для легких бетонов присущи большие усадочные деформации и высокая трещиностойкость, чем для тяжелых бетонов, вследствие невысокого модуля упругости керамзита. В среднем, у керамзитобетона значение усадки до 20 % больше, чем у тяжелого бетона.

В [3] усадку керамзита при расчетах принимали равной нулю ввиду невысокого модуля упругости, допуская, что это не влияет на результаты расчета, однако с это утверждение не совсем корректно.

Для анализа механизма усадки бетона необходимо, во-первых, исследовать условия испарения воды, которая содержится в бетоне, а во-вторых, учесть зависимости влияния применяемых составляющих бетонной смеси.

2 Основная часть

2.1 Анализ зависимости усадки от цемента

Минералогический состав и скорость гидратации цемента оказывают существенное влияние на скорость усадки. Причиной усадки цементного камня является изменение в кристаллогидратных образованиях содержания влаги на разных стадиях формования и упрочнения, нарушается гигрометрическое равновесие в порах цементного геля. Усадка бетона снижается при повышении объемной концентрации цемента, которое обычно сопровождается снижением водоцементного отношения. Опытные данные [5] показали снижение значения усадки в 1,8 раза при увеличении объема цемента в пределах от 300 до 485 кг/м³. В [8] автор отметил, что влияние изменения объемной концентрации цемента на усадку легкого бетона можно оценивать по формуле Лермита. Согласно формуле Лермита величина деформаций усадки прямо пропорциональна соотношению объема цемента к объему цемента с заполнителем. Однако в [9] автор утверждает, что с увеличением цемента на единицу объема бетона, усадка увеличивается.

2.2. Анализ зависимости усадки от песка

Влияние песка на деформации усадки керамзитобетона неоднозначно. Введение пористого песка в бетонную смесь сопровождается необходимостью увеличения расхода воды. У пористого песка низкий модуль упругости, это способствует более длительному процессу деформации усадки, чем при

использовании плотного песка. Однако, чтобы получить одинаковую прочность бетона на пористом песке и на плотном песке, необходимо снизить водоцементное отношение для бетонной смеси на пористом песке, и это способствует уменьшению усадки бетона. При замене плотного песка на пористый в [10] деформации усадки снизились. Результаты исследований [5] показали, что при использовании обжигового керамзитового песка вместо дробленного, значение усадки керамзитобетона уменьшается. Снижение усадки керамзитобетона наблюдается при использовании кварцевого песка с уменьшением объема керамзита. Кварцевый песок обладает более высоким значением модуля упругости, чем керамзит.

2.2 Анализ зависимости усадки от керамзита

Следует отметить особое значение количества и качества, вида, размера фракции керамзита на усадку керамзитобетона. В местах наибольшего сближения крупного заполнителя возникают растягивающие напряжения, которые влияют на усадочные деформации. Усадка цементного камня проявляется в большей степени при довольно значительном расстоянии между зернами крупного заполнителя.

В [3] утверждают, что с увеличением количества керамзита при повышении его модуля упругости, усадка керамзитобетона уменьшается. В тоже время при увеличении объема керамзита уменьшается объем песка, а снижение объемной концентрации песка повышает величину усадки.

Величина фракции керамзита оказывает влияние на усадку в равной степени, как и на прочность керамзита. Уменьшение размера фракции керамзитового гравия приводит к уменьшению деформаций усадки керамзитобетона. Соответственно, повышая прочность и упругость керамзита, усадка бетона уменьшается.

В случае насыщения зерен керамзита водой деформации усадка керамзитобетона становятся меньше [11], деформации усадки определялись по формуле:

$$\varepsilon_{st} = \frac{l_0 - l_t}{l_b}$$

где ε_{st} – деформация усадки бетона в момент времени t ;

l_0 – начальное значение;

l_t – значение во времени t ;

l_b – длина шкалы.

Предварительно увлажненный крупный заполнитель также был предложен в [2, 6, 12-16] как эффективная стратегия для уменьшения аутогенной усадки и предотвращения растрескивания в раннем периоде твердения бетона. При этом рекомендуется керамзит погрузить в воду на 24 часа до проведения испытаний, и содержание поглощенной воды керамзитом учесть при расчете подбора состава бетонной смеси [12, 13]. Относительно более высокое водонасыщение керамзита оказывает лучшую эффективность, снижая вероятность растрескивания, и при этом возможно увеличение содержания влаги на поверхности бетона в период аутогенной усадки [17].

2.3 Анализ зависимости усадки от добавок

Одни авторы отмечают, что применение в бетонной смеси ускорителей твердения и добавок приводит к увеличению усадки [3, 18], опытные результаты других авторов показывают обратное [11, 19-21]. На рис. 1 представлены деформации усадки керамзитобетона с использованием пяти видов керамзита без применения добавок и с применением расширяющей добавки.

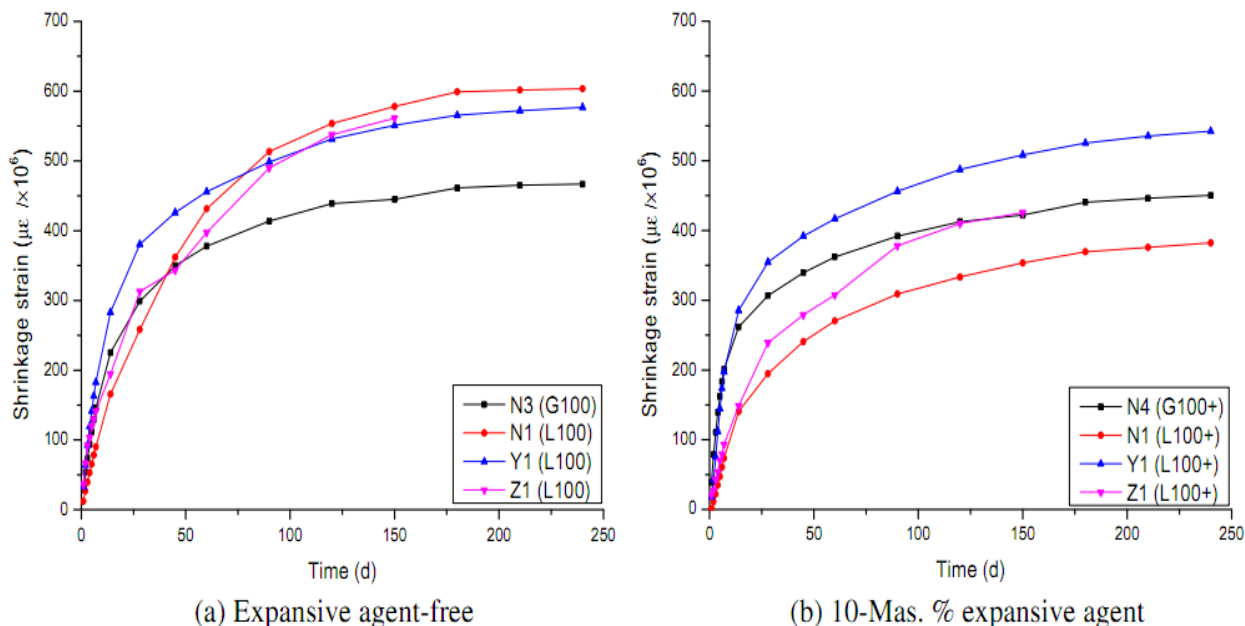


Рисунок 1. Деформации усадки керамзитобетона: слева – без применения добавок; справа – с применением расширяющей добавки [11].

Figure 1. Shrinkage deformations of expanded clay concrete: on the left - without the use of additives; on the right - with the use of an expanding additive [11].

В работе [20] установлено, что полипропиленовое волокно оказывает значительное ингибирующее действие на усадочные трещины. Авторы [21, 22] обнаружили, что полипропиленовая фибра с поликарбоновой кислотой могут эффективно уменьшить деформации влажностной усадки цементного раствора в бетоне (рис. 2). Деформации снижаются в связи с уменьшением поверхностного натяжения раствора в порах керамзитобетона [23]. Согласно уравнению Юнга-Лапласа, отрицательное давление, создаваемое капиллярами, может уменьшаться вместе с уменьшением поверхностного натяжения раствора пор. Усадка вследствие отрицательного капиллярного давления может уменьшиться [24].

Керамзитобетон с различной дозировкой стальной фибры (1%, 1,5%, 2,5% от массы цемента) сравнивали с эталонным керамзитобетонным образцом для оценки влияния стальной фибры на усадку бетона [25]. Результаты показали, что введение 2,5%, 1,5% и 1 % стальной фибры уменьшило деформации усадки на 39,1%, 29,2% и 19,8% соответственно.

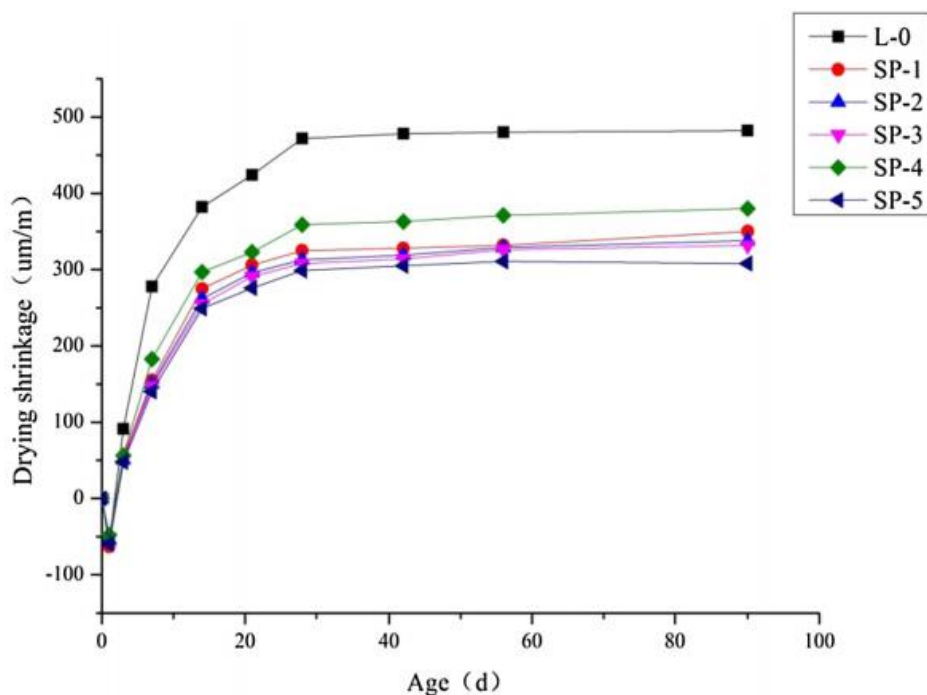


Рисунок 2. Деформации усадки керамзитобетона: L-0 – без применения добавок, SP-1 – SP-5 – с применением полипропиленовой фибры и поликарбоновой кислоты [22].

Figure 2. Shrinkage deformations of expanded clay concrete: L-0 - without the use of additives, SP-1 - SP-5 - with the use of polypropylene fiber and polycarboxylic acid [22].

Легкий бетон с различной дозировкой наночастиц SiO_2 (1%, 2%, 3% от массы цемента) сравнивали с эталонным керамзитобетонным образцом для оценки влияния наночастиц SiO_2 на прочность и усадку бетона [26, 27, 28]. Результаты показали, что введение 2% и 3% наночастиц SiO_2 в керамзитобетонную смесь значительно увеличило прочность на сжатие испытываемого образца и уменьшило деформации усадки. Общая площадь трещинообразования была уменьшена на 25% для бетонной смеси с применением 3% наночастиц SiO_2 от массы цемента (рис.3).

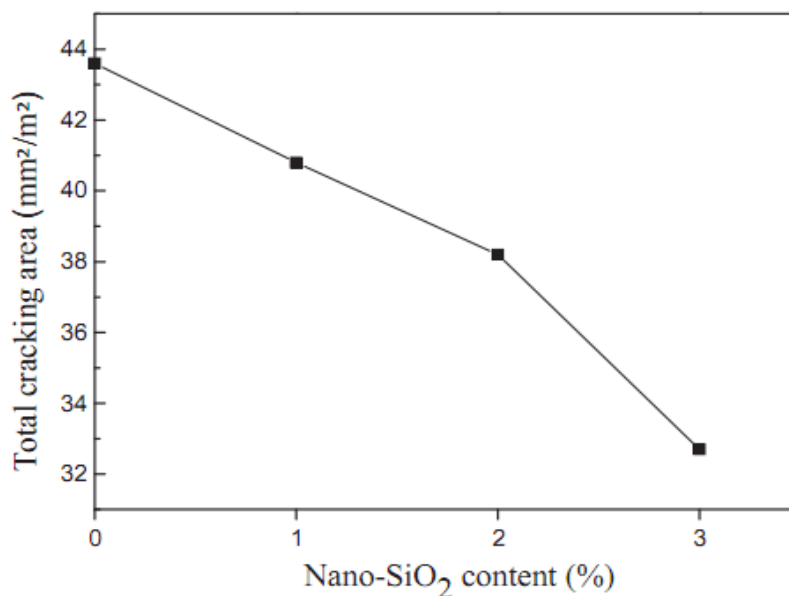


Рисунок 3. Взаимосвязь общей площади трещинообразования от дозировки наночастиц SiO_2 1%, 2%, 3% от массы цемента [26].

Figure 3. The relationship of the total area of cracking from the dosage of SiO_2 nanoparticles 1%, 2%, 3% by weight of cement [26].

3 Выводы и перспективы дальнейших исследований

Для выявления механизма усадки бетона необходимо, во-первых, исследовать при каких условиях испаряется вода, содержащаяся в бетоне, а во-вторых, учесть зависимости влияния применяемых составляющих бетонной смеси.

Относительно высокие значения деформации усадки отрицательно влияют на прочностные характеристики бетона, его долговечность, трещинообразование. Следует отметить, что основные факторы, влияющие на усадку бетона, оказывают также существенное влияние на его прочность. Поскольку существует много общего между усадкой и прочностью на сжатие бетона, необходимо учесть соответствующие факторы при подборе бетонной смеси.

В связи с вышеизложенным планируется провести серии испытаний для определения деформаций влажностной, карбонизационной, контракционной усадки и расширения керамзитобетонных и армированных образцов. Также предполагается определить прочностные и деформативные характеристики испытываемых образцов.

Литература

1. Bogas, J.A., Nogueira, R., Almeida, N.G. Influence of mineral additions and different compositional parameters on the shrinkage of structural expanded clay lightweight concrete. *Materials & Design*. 2014. 56(4). Pp. 1039–1048. DOI: 10.1016/j.matdes.2013.12.013
2. Zhang, J., Wang, Q., Zhang, J. Shrinkage of internal cured high strength engineered cementitious composite with pre-wetted sand-like zeolite. *Construction and Building Materials*. 2017. 134. Pp. 664–672. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2016.12.182
3. Dovzhik V.G., Dorf V.A., Petrov V.P. *Tekhnologiya vysokoprochnogo betona*. [High strength concrete technology]. Moscow, 1976. 136 p. (rus)
4. Akhverdov I.N. *Osnovy fiziki betona*. [Concrete physics fundamentals]. Moscow, 1981. 464 p. (rus)
5. Kudryavtsev A.A. Modul uprugosti i modul deformatsii konstruktivnogo keramzitobetona [Modulus of elasticity and deformation modulus of structural clay-dite concrete]. *Struktura, prochnost i deformatsiya legkogo betona*. 1973. Pp. 24–33. (rus)
6. Bazant, Z.P. Prediction of concrete creep and shrinkage: past, present and future. *Nuclear Engineering and Design*. 2001. 203(1). Pp. 27–38. DOI: 10.1016/S0029-5493(00)00299-5
7. Clarke, J.L. *Structural Lightweight Aggregate Concrete*. Glasgow, 2005. 161 p.
8. Simonov M.Z. *Osnovy tekhnologii legkikh betonov*. [Fundamentals technology of lightweight concrete]. Moscow, 1973. 58 p. (rus)
9. Murashev V.I., Sigalov E.Ye., Baykov V.N. *Zhelezobetonnyye konstruksii*. Obshchiy kurs. [Reinforced concrete constructions. General course]. Moscow, 1962. 659 p. (rus)
10. Kurasova, G.P., Istomin, A.S. Problema polzuchesti i usadki betona [Concrete creep and shrinkage problem]. *Novoye v tekhnologii legkikh betonov na poristyykh zapolnitelyakh*. 1974. Pp. 24–33. (rus)
11. Wang, X.F., Fang, C., Kuang, W.Q., Li, D.W., Han, N.X., Xing, F. Experimental investigation on the compressive strength and shrinkage of concrete with pre-wetted lightweight aggregates. *Construction and Building Materials*. 2017. 155. Pp. 867–879. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.07.224
12. Wang, X.F., Fang, C., Kuang, W.Q., Li, D.W., Han, N.X., Xing, F. Experimental study on early cracking sensitivity of lightweight aggregate concrete. *Construction and Building Materials*. 2017. 136. Pp. 173–183. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2016.12.069
13. Henkensiefken, R., Bentz, D., Nantung, T., Weiss, J. Volume change and cracking in internally cured mixtures made with saturated lightweight aggregate under sealed and unsealed. *Cement and Concrete Composites*. 2009. 31(7). Pp. 427–437. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2009.04.003
14. Zhutovsky, S., Kovler, K., Bentur, A. Efficiency of lightweight aggregates for internal curing of high strength concrete to eliminate autogenous shrinkage. *Materials and Structures*. 2002. 35(2). Pp. 97–101. DOI: 10.1007/BF02482108
15. Cusson, D., Hoogeveen, T. Internal curing of high-performance concrete with pre-soaked fine lightweight aggregate for prevention of autogenous shrinkage cracking. *Cement and Concrete Research*. 2008. 38(6). Pp. 757–765. DOI: 10.1016/j.cemconres.2008.02.001

16. Ji, T., Zheng, D.D., Chen, X.F., Lin, X.J., Wu, H.C. Effect of prewetting degree of ceramsite on the early-age autogenous shrinkage of lightweight aggregate concrete. *Construction and Building Materials*. 2015. 98. Pp. 102–111. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2015.08.102
17. Liu, X.M., Chia, K.S., Zhang, M.H. Development of lightweight concrete with high resistance to water and chloride-ion penetration. *Cement and Concrete Research*. 2010. 32(10). Pp. 757–766. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2010.08.005
18. Lermi R. Problemy tekhnologii betona. [Concrete technology problems]. Moscow, 2007. 296 p. (rus)
19. Han, J., Jia, D., Yan, P. Understanding the shrinkage compensating ability of type K expansive agent in concrete. *Construction and Building Materials*. 2016. 116. Pp. 36–44. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2016.04.092
20. Pelisser, F., Neto, A.B.D.S.S., Rovere, H.L.L., Pinto, R.C.D.A. Effect of the addition of synthetic fibers to concrete thin slabs on plastic shrinkage cracking. *Construction and Building Materials*. 2010. 24(11). Pp. 2171–2176. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2010.04.041
21. Toledo Filho, R.D., Sanjuan, M.A. Effect of low modulus sisal and polypropylene fibre on the free and restrained shrinkage of mortars at early age. *Cement and Concrete Research*. 1999. 29(10). Pp. 1597–1604. DOI: 10.1016/S0008-8846(99)00136-2
22. Gong, J., Zeng, W., Zhang, W. Influence of shrinkage-reducing agent and polypropylene fiber on shrinkage of ceramsite concrete. *Construction and Building Materials*. 2018. 159. Pp. 155–163. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.10.064
23. Tazawa, E.I., Miyazawa, S., Kasai, T. Chemical shrinkage and autogenous shrinkage of hydrating cement paste. *Cement and Concrete Research*. 1995. 25(2). Pp. 288–292. DOI: 10.1016/0008-8846(95)00011-9
24. Chen, T., Chiu, M.S., Weng, C.N. Derivation of the generalized Young-Laplace equation of curved interfaces in nanoscaled solids. *Journal of Applied Physics*. 2006. 100(7). Pp. 65-66.
25. Zhang, X., Liu, Z., Wang, F. Autogenous shrinkage behavior of ultra-high performance concrete. *Constructions and Buildings materials*. 2019. 226. Pp. 459–468. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.07.177
26. Wang, X.F., Huang, Y.J., Wu, G.Y., Fang, C., Li, D.W., Han, N.X., Xing, F. Effect of nano-SiO₂ on strength, shrinkage and cracking sensitivity of lightweight aggregate concrete. *Construction and Building Materials*. 2018. 175. Pp. 115–125. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.04.113
27. Rao, G.A. Long-term drying shrinkage of mortar-influence of silica fume and size of fine aggregate. *Cement and Concrete Research*. 2001. 31(2). Pp. 171–175. DOI: 10.1016/S0008-8846(00)00347-1
28. Zhang, R., Cheng, X., Hou, P.K., Ye, Z.M. Influences of nano-TiO₂ on the properties of cement-based materials: Hydration and drying shrinkage. *Construction and Building Materials*. 2015. 81. Pp. 35–41. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2015.02.003