



Construction of Unique Buildings and Structures



journal homepage: www.unistroy.spb.ru



Моделирование температурного поля в силикатном кирпиче в период прогрева заготовки

О.В. Ермак¹, Н.И. Шестаков²

¹ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, 195251, Россия, Санкт-Петербурге, ул. Политехническая, 29.

²ФГБОУ ВПО Череповецкий государственный университет, 162600, Россия, Череповец, Пр-т. Луначарского, 5.

Информация о статье	История	Ключевые слова
УДК 691 Научная статья	Подана в редакцию 15 апреля 2014 Оформлена 20 апреля 2014 Согласована 27 мая 2014	силикатный кирпич; тепловая обработка; математическое моделирование; температурное поле; свойства изделий;

АННОТАЦИЯ

Одной из составных частей технологического процесса в изготовлении силикатного кирпича является тепловая обработка, в значительной мере определяющая строительно-прочностные свойства готовых изделий. Для моделирования процесса нагревания заготовки используется методика, основанная на решении дифференциального уравнения температурного поля при отсутствии внутренних источников теплоты. Представлены соотношения, описывающие температурное поле заготовки, при изготовлении декоративного силикатного кирпича на первом этапе обработки.

Содержание

1.	Введение	66
2.	Обзор литературы	66
3.	Постановка задачи	66
4.	Описание исследования	66
5.	Выводы	67

¹ Контактный автор:
+7 (921) 773 9058, ermak_olgavalentinovna@mail.ru (Ермак Ольга Валентиновна, к.т.н., доцент)
² +7 (820) 251 7829, shestakovni@chsu.ru (Шестаков Николай Иванович, д.т.н., профессор)

1. Введение

Технологический процесс изготовления силикатного кирпича включает тепловую обработку [1, 2, 4, 5, 9, 12 -14]. Твердение занимает до 90% времени и значительно определяет прочностные свойства готовых изделий. На первой стадии обработки материал прогревается, далее начинается химическая реакция на поверхности заготовки. Моделирование позволяет описать температурное поле заготовки на первом этапе обработки.

2. Обзор литературы

Для успешной разработки технологии получения силикатного кирпича необходимо изучить тепловые процессы [7, 10, 11], протекающие в заготовке при ее обработке.

Моделирование процесса тепловой обработки силикатного кирпича выполнено в работах [10, 12, 14].

3. Постановка задачи

Стадия прогрева материала имеет важное значение, определяющее качество кирпича. Моделирование процесса тепловой обработки позволяет оптимизировать технологический процесс. Для построения, выбранной модели, необходимо вывести соотношения для описания температурного поля заготовки при изготовлении силикатного кирпича на первом этапе обработки.

4. Описание исследования

Заготовка с размерами $2\delta_x, 2\delta_y, 2\delta_z$ помещена в среду, имеющую температуру $T_{ж}$. Условия нагрева заготовки в первый период [3] (до начала химических реакций) во всех направлениях одинаковые (коэффициент теплоотдачи $\alpha = const$).

Дифференциальное уравнение температурного поля при отсутствии внутренних источников теплоты (при $q_v=0$) имеет вид [6]:

$$\frac{\partial T_1}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 T_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_1}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T_1}{\partial z^2} \right), \quad (1)$$

где T_1 - температура заготовки в первом периоде обработки; τ - время; a – эквивалентный коэффициент теплопроводности материала заготовки; x, y, z – текущие координаты.

Считаем, что в начале процесса температура в заготовке распределена равномерно, тогда начальные условия:

$$T_1(x, y, z, \tau = 0) = T_0 = const \quad (2)$$

Граничные условия:

Из условий геометрической и тепловой симметрии следует:

$$\left(\frac{\partial T_1(0, y, z, \tau)}{\partial x} \right) = 0; \quad \frac{\partial T_1(x, 0, z, \tau)}{\partial y} = 0; \quad \frac{\partial T_1(x, y, 0, \tau)}{\partial z} = 0 \quad (3)$$

Теплообмен на поверхности заготовки подчиняется закону Ньютона-Рихмана:

$$\mp \frac{\partial T_1(\pm \delta_x, y, z, \tau)}{\partial x} = \frac{\alpha}{\lambda} [T_1(\pm \delta_x, y, z, \tau) - T_{ж}]; \quad (4)$$

$$\mp \frac{\partial T_1(x, \pm \delta_y, z, \tau)}{\partial y} = \frac{\alpha}{\lambda} [T_1(x, \pm \delta_y, z, \tau) - T_{\text{жс}}]; \quad (5)$$

$$\mp \frac{\partial T_1(x, y, \pm \delta_z, \tau)}{\partial z} = \frac{\alpha}{\lambda} [T_1(x, y, \pm \delta_z, \tau) - T_{\text{жс}}]. \quad (6)$$

Решение системы (1)-(6) в безразмерном виде можно представить как произведение трех решений для неограниченной пластины, так как заготовка (параллелепипед) образована путем пересечения трех взаимноперпендикулярных неограниченных пластин:

$$\theta_1(x, y, z, \tau) = \theta_1(x, \tau) \theta_1(y, \tau) \theta_1(z, \tau), \quad (7)$$

где

$$\theta_1(x, y, z, \tau) = \frac{T_1(x, y, z, \tau) - T_{\text{жс}}}{T_0 - T_{\text{жс}}}; \quad \theta_1(x, \tau) = \frac{T_1(x, \tau) - T_{\text{жс}}}{T_0 - T_{\text{жс}}}; \quad \theta_1(y, \tau) = \frac{T_1(y, \tau) - T_{\text{жс}}}{T_0 - T_{\text{жс}}}; \quad \theta_1(z, \tau) = \frac{T_1(z, \tau) - T_{\text{жс}}}{T_0 - T_{\text{жс}}}$$

Следовательно:

$$\theta_1(x, y, z, \tau) = \frac{[T(x, \tau) - T_{\text{жс}}][T_1(y, \tau) - T_{\text{жс}}][T_1(z, \tau) - T_{\text{жс}}]}{(T_0 - T_{\text{жс}})^3}$$

Решение задачи о равномерном нагреве пластины известно [8]:

$$\theta_1(x, \tau) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2 \sin \mu_{nx}}{\mu_{nx} + \sin \mu_{nx} \cos \mu_{nx}} \cos \left(\mu_{nx} \frac{x}{\delta_x} \right) \exp(-\mu_{nx}^2 a \tau / \delta_x^2); \quad (8)$$

$$\theta_1(y, \tau) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2 \sin \mu_{ny}}{\mu_{ny} + \sin \mu_{ny} \cos \mu_{ny}} \cos \left(\mu_{ny} \frac{y}{\delta_y} \right) \exp(-\mu_{ny}^2 a \tau / \delta_y^2); \quad (9)$$

$$\theta_1(z, \tau) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2 \sin \mu_{nz}}{\mu_{nz} + \sin \mu_{nz} \cos \mu_{nz}} \cos \left(\mu_{nz} \frac{z}{\delta_z} \right) \exp(-\mu_{nz}^2 a \tau / \delta_z^2). \quad (10)$$

Значения μ_{nx} , μ_{ny} , μ_{nz} определяются из характеристических уравнений:

$$\frac{\mu_{nx}}{Bi_x} = \text{ctg} \mu_{nx}, \quad \frac{\mu_{ny}}{Bi_y} = \text{ctg} \mu_{ny}, \quad \frac{\mu_{nz}}{Bi_z} = \text{ctg} \mu_{nz}.$$

Решение задачи можно выразить через безразмерные величины:

$$\theta(x, y, z, \tau) = F_x(\mu_n, Bi_x, Fo_x, X) F_y(\mu_n, Bi_y, Fo_y, Y) F_z(\mu_n, Bi_z, Fo_z, Z)$$

$$Bi_x = \frac{\alpha \delta_x}{\lambda}; \quad Fo_x = \frac{a \tau}{\delta_x^2}; \quad X = \frac{x}{\delta_x}; \quad Bi_y = \frac{\alpha \delta_y}{\lambda}; \quad Fo_y = \frac{a \tau}{\delta_y^2}; \quad Y = \frac{y}{\delta_y}; \quad Bi_z = \frac{\alpha \delta_z}{\lambda}; \quad Fo_z = \frac{a \tau}{\delta_z^2}; \quad Z = \frac{z}{\delta_z}.$$

Таким образом, температурное поле заготовки при изготовлении декоративного силикатного кирпича на первом этапе обработки описывается соотношениями (7) - (10).

5. Выводы

Таким образом, полученные в работе соотношения позволяют определить температурное поле заготовки при изготовлении кирпича на первом этапе обработки.

Литература

1. Математическая модель температурного поля в декоративном силикатном кирпиче в период прогрева заготовки / Белозор М.Ю., Меньшакова Т.Н., Шестакова Е.А., Сеницын Н.Н. // Современные промышленные технологии. Материалы XIX всероссийской научно-технической конференции. Н.Новгород: ННИМЦ «Диалог». 2007. С. 12-13.
2. Клименти Н.Ю., Власова О.С., Николенко М.А. О свойствах пыли в воздухе рабочей зоны на предприятиях по производству силикатного кирпича // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2013. № 33 (52). С. 139-142.
3. Воронин В. П., Заровнятных В. А. Эффективный силикатный кирпич на основе золы ТЭС и порошкообразной извести // Строительные материалы. 2000. № 8. 24 с.
4. Дмитриевич А. Д. Тепло и массообмен при твердении кирпича в паровой среде. М. 1967. 244 с.
5. Зохарович В.С., Шукуров Э.Д. Производство кирпича. Ленинград: Стройиздат, 1988. 232 с.
6. Зейфман М.И. Изготовление силикатного кирпича и силикатных ячеистых материалов. М.: Стройиздат, 1990. 184 с.
7. Белозор М.Ю., Меньшакова Т.Н., Шестакова Е.А. Математическая модель температурного поля в декоративном силикатном кирпиче в период развитой гидратации Современные прямолинейные технологии // Материалы Всероссийской научнотехнической конференции (Computer Based Conferences) – Нижний Новгород: Нижегородский научный и информационно-методический центр «Диалог» (ННИМЦ «Диалог»), 2007. С.10-11.
8. Кирсанов Ю.А. Теория теплопроводности в циклических тепловых процессах // Известия Российской академии наук. Энергетика. 2005. № 6. С. 39-50.
9. Митрохина М.М., Хвостенков С.И. Использование отходов ТЭС в производстве силикатного кирпича. // Труды ВНИИстром. М., 1977. №26. 64 с.
10. Обещенко Г.А., Шифрин Е.И. Математическая модель и эффективные режимы ТВО силикатного кирпича // Силикатная промышленность 1981. № 12. С. 9-11.
11. Шестаков Н.И., Сеницын Н.Н., Меньшакова Т.Н. Технология изготовления силикатного кирпича с добавками шлама кислородно-конвертерного производства // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2010. Т.6. №2. С. 77-80.
12. Шестаков Н.И., Ермак О.В. Моделирование тепловых процессов при производстве силикатного кирпича с использованием отходов металлургической промышленности. Строительство уникальных зданий и сооружений. 2013. №8 (13). С. 29-33
13. Purton M.J., Coldrey J.M. The effect of autoclaving conditions on the constitution and properties of calcium silicate brick spesiraens. Trans. Brit. Ceram. Soc., 1970 №3.
14. Alonso A.A., Banga J.R. Perez-Martin R. Modeling and adaptive control for batch sterilization// Computers chemical engineering Vol.22, No.3, pp.445-458,1998.138
15. Utilization of copper tailing for autoclaved sand–lime brick / Yonghao Fang, Yamin Gu, Qiubo Kang, Quan Wen, Pin Dai // Construction and building materials. 2011. Vol. 25. Issue 2. Pp. 867-872.
16. Pytel Z., Malolepszy J. Effect of mineral admixtures on some properties of sand-lime bricks // Waste management series. 2000. Vol. 1. Pp. 371-382.
17. Lianyang Zhang. Production of bricks from waste materials – A review // Construction and building materials. 2013. Vol. 47. Pp. 643-655.
18. Raut S. P., Ralegaonkar R. V., Mandavgane S. A. Development of sustainable construction material using industrial and agricultural solid waste: A review of waste-create bricks // Construction and building materials. 2011. Vol. 25. Issue 10. Pp. 4037-4042.
19. Saeed Ahmari, Lianyang Zhang. Production of eco-friendly bricks from copper mine tailings through geopolymerization // Construction and building materials. 2012. Vol. 29. Pp. 323–331.

Simulation of the temperature field in the sand-lime brick during warm-blank

O.V. Ermak¹, N.I. Shestakov²

¹*Saint-Petersburg State Polytechnical University, 29 Polytechnicheskaya st., St.Petersburg, 195251, Russia*

²*Cherepovets State University, 5 Lunacharsky prospect, Cherepovets, Vologda region, 162600, Russia*

ARTICLE INFO

Original research article

Article history

Received 15 April 2014
Received in revised form 20 April 2014
Accepted 27 May 2014

Keywords

sand-lime brick;
thermal processing;
mathematical modeling;
the temperature field;
properties of materials;

ABSTRACT

An integral part of the process in the manufacture of sand-lime brick is heat treatment, to a large extent determines the construction and mechanical properties of the finished products. For modeling the heating process used harvesting technique based on the solution of the differential equation of the temperature field in the absence of internal heat sources. Relations describing the temperature field of the work piece in the manufacture of decorative silica brick in the first stage of processing.

¹ Corresponding author:
+7 (921) 773 9058, ermak_olgavalentinovna@mail.ru (Olga Valentinovna Ermak, Ph.D., Associate Professor)
² +7 (820) 251 7829, shestakovni@chsu.ru (Nikolay Ivanovich Shestakov, D.Sc., Professor)

References

1. *Matematicheskaya model' temperaturnogo polya v dekorativnom silikatnom kirpiche v period progrevazagotovki* / Belozor M.Yu., Men'shakova T.N., Shestakova E.A., Sinicyn N.N. [Mathematical model of temperature field in the decorative sand-lime brick in the warm-up period harvesting] // *Sovremennye promyshlennyye tekhnologii. Materialy XIX vserossiyskoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii. N.Novgorod: NNIMC «Dialog»*. 2007. Pp. 12-13. (rus)
2. Klimenti N.Yu., Vlasova O.S., Nikolenko M.A. *O svoystvax pyli v vozduxe rabochej zony na predpriyatiyax po proizvodstvu silikatnogo kirpicha* [On the properties of dust in the working area at manufacturing silicate brick] // *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura*. 2013. № 33 (52). Pp. 139-142. (rus)
3. Voronin V. P., Zarovnyatnyx V. A. *E'ffektivnyj silikatnyj kirpich na osnove zoly TE'S i poroshkoobraznoj izvesti* [Effective silicate brick based TPP ash and powdered lime] // *Construction materials*. 2000. № 8. 24 p. (rus)
4. Dmitrovich A. D. *Teplo i massoobmen pri tverdenii kirpicha v parovoj srede* [Heat and mass transfer during solidification brick steam environment] M. 1967. 244 p. (rus)
5. Zoxarovich V.S., Shukurov E'.D. *Proizvodstvo kirpicha*. [Manufacture of bricks] Leningrad: Strojizdat, 1988. 232 p. (rus)
6. Zejfmán M.I. *Izgotovlenie silikatnogo kirpicha i silikatnyx yacheistyx materialov* [Manufacture of silica brick and silicate cellular material] M.: Strojizdat, 1990. 184 p. (rus)
7. Belozor M.Yu., Men'shakova T.N., Shestakova E.A. *Matematicheskaya model' temperaturnogo polya v dekorativnom silikatnom kirpiche v period razvitoy gidratcii* *Sovremennye pryamolinejnye tekhnologii* [Mathematical model of temperature field in the decorative sand-lime brick during hydration developed modern straightforward technology] // *Materialy Vserossiyskoj nauchnotekhnicheskoy konferencii (Computer Based Conferences) – Nizhnij Novgorod: Nizhegorodskij nauchnyj i informacionno-metodicheskij centr «Dialog» (NNIMC «Dialog»)*, 2007. Pp. 10-11. (rus)
8. Kirsanov Yu.A. *Teoriya teploprovodnosti v ciklicheskix teplovyx processah* [The theory of heat conduction in the cyclic thermal processes] // *Izvestiya Rossijskoj akademii nauk. E'nergetika*. 2005. № 6. Pp. 39-50. (rus)
9. Mitroxina M.M., Xvostenkov S.I. *Ispol'zovanie otxodov TE'S v proizvodstve silikatnogo kirpicha* [Using waste TPP production of silica brick] // *Trudy VNIItrom*. M., 1977. №26. 64 p. (rus)
10. Obeshhenko G.A., Shifrin E.I. *Matematicheskaya model' i e'ffektivnye rezhimy TVO silikatnogo kirpicha* [Mathematical model and efficient modes TVO silicate brick] // *Silikatnaya promyshlennost'*. 1981. № 12. Pp. 9-11. (rus)
11. Shestakov N.I., Sinicyn N.N., Men'shakova T.N. *Texnologiya izgotovleniya silikatnogo kirpicha s dobavkami shlama kislородno-konverternogo proizvodstva* [Menshakova Manufacturing technology with the addition of silica brick BOF sludge production] // *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2010. Vol. 6. №2. Pp. 77-80. (rus)
12. Shestakov N.I., Ermak O.V. *Modeling of thermal processes with use of iron and steel wastes in the production of silica brick*// *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2013. №8 (13). Pp 29-33. (rus)
13. Purton M.J., Coldrey J.M. *The effect of autoclaving conditions on the constitution and properties of calcium silicate brick spesiraens*. *Trans. Brit. Ceram. Soc.*, 1970 №3.
14. Alonso A.A., Banga J.R. Perez-Martin R. *Modeling and adaptive control for batch sterilization*// *Computers chemical engineering* Vol.22, No.3, pp.445-458,1998.
15. *Utilization of copper tailing for autoclaved sand–lime brick* / Yonghao Fang, Yamin Gu, Qiubo Kang, Quan Wen, Pin Dai // *Construction and building materials*. 2011. Vol. 25. Issue 2. Pp. 867-872.
16. Pytel Z., Malolepszy J. *Effect of mineral admixtures on some properties of sand-lime bricks* // *Waste management series*. 2000. Vol. 1. Pp. 371-382.
17. Lianyang Zhang. *Production of bricks from waste materials – A review* // *Construction and building materials*. 2013. Vol. 47. Pp. 643-655.
18. Raut S. P., Ralegaonkar R. V., Mandavgane S. A. *Development of sustainable construction material using industrial and agricultural solid waste: A review of waste-create bricks* // *Construction and building materials*. 2011. Vol. 25. Issue 10. Pp. 4037-4042.
19. Saeed Ahmari, Lianyang Zhang. *Production of eco-friendly bricks from copper mine tailings through geopolymerization* // *Construction and building materials*. 2012. Vol. 29. Pp. 323–331..