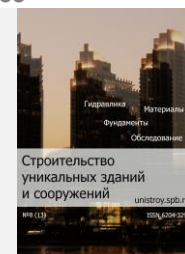




Construction of Unique Buildings and Structures



journal homepage: www.unistroy.spb.ru



Моделирование тепловых процессов при производстве силикатного кирпича с использованием отходов металлургической промышленности

Н. И. Шестаков¹, О. В. Ермак²

¹ФГБОУ ВПО Череповецкий государственный университет, 162600, Россия, г. Череповец, Пр-т Луначарского, 5,

²ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, 195251, Россия, Санкт-Петербург, Политехническая, 29.

ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ

УДК 691.4. 004. 8/669. 184

История

Подана в редакцию 10 октября 2013
Оформлена 20 октября 2013
Согласована 30 октября 2013

Ключевые слова

строительные материалы
силикатный кирпич
тепловая обработка
математическое моделирование
температурное поле

АННОТАЦИЯ

Использование отходов металлургической промышленности при получении материалов, применяемых в строительстве, в частности, силикатного кирпича, позволяет в значительной мере экономить энергоресурсы. 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. Предлагается решение уравнения температурного поля с определенными условиями однозначности методом конечных разностей. Для упрощения процесса моделирования рассматривается четвертая часть заготовки исходя из условий геометрической и тепловой симметрии.

Содержание

1. Введение	30
2. Этапы производства силикатного кирпича с использованием отходов металлургического производства	30
3. Моделирование тепловых процессов при производстве силикатного кирпича на примере заготовки прямоугольной формы	30

¹ Контактный автор:
(8202) 51-81-32, shestakovni@chsu.ru (Шестаков Николай Иванович, д.т.н., профессор)
² +7 (921) 773 9058, ermak_olgvalexandrovna@mail.ru (Ермак Ольга Валентиновна, к.т.н., доцент)

1. Введение

Рациональное использование природных ресурсов и внедрение малоотходных и безотходных технологических процессов способствует оздоровлению окружающей среды. Известны методики использования отходов теплоэлектростанций для производства силикатного кирпича [2, 9]. Использование отходов металлургической промышленности при получении материалов, применяемых в строительстве, позволяет в значительной мере экономить энергоресурсы за счет уменьшения объемов работ по добыче природного сырья.

Одной из составных частей технологического процесса в изготовлении силикатного кирпича является тепловая обработка [1, 4-7, 12, 13 - 20], в значительной мере определяющая строительно-прочностные свойства готовых изделий.

Для успешной разработки технологии получения силикатного кирпича с использованием отходов металлургического производства, в частности, необходимо изучить тепловые процессы, протекающие в заготовке в процессе ее обработки [12].

Математическое моделирование процесса тепловой обработки силикатного кирпича было выполнено в работах [8, 10, 11, 14].

2. Этапы производства силикатного кирпича с использованием отходов металлургического производства

Как показано в работе [5], процесс производства силикатного кирпича с использованием отходов металлургического производства можно условно разделить на следующие этапы.

В момент помещения материала в камеру заготовка имеет начальную температуру, которая равномерно распределена по всему объему. Затем материал начинает прогреваться за счет теплоты газов. При достижении поверхностью заготовки температуры реакции, при которой начинается химическая реакция, заканчивается первая стадия прогрева материала.

При достижении поверхностью заготовки температуры химической реакции в материале начинают действовать локальные источники внутренней энергии, распределенные не по всему объему заготовки. Химическая реакция начинает действовать по объему заготовки по мере достижения внутренними слоями температуры химической реакции.

Вторая стадия заканчивается в момент достижения температуры химической реакции центром заготовки. В третьем периоде внутренние источники распределены по всему объему заготовки.

Период устойчивого протекания химических реакций заканчивается при достижении температуры на поверхности заготовки постоянного значения. Дальнейшее увеличение температуры невозможно.

3. Моделирование тепловых процессов при производстве силикатного кирпича на примере заготовки прямоугольной формы

Рассмотрим заготовку прямоугольной формы. В заготовке имеются 3 глухих отверстия цилиндрической формы радиусом r . Условия нагрева заготовки в первый период (до начала химических реакций) во всех направлениях одинаковые (коэффициент теплоотдачи $\alpha = const$).

Для моделирования процесса нагревания заготовки используется дифференциальное уравнение температурного поля при отсутствии внутренних источников теплоты.

Дифференциальное уравнение температурного поля при отсутствии внутренних источников теплоты (при $q_v=0$) имеет вид [12]:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + \frac{q_v(\rho, z)}{c\rho} \sigma_0(j-2), \quad (1)$$

где T - температура заготовки в первом периоде обработки; τ - время; a - эквивалентный коэффициент температуропроводности материала заготовки; x, y, z - текущие координаты, q_v - удельная мощность

внутренних источников теплоты вследствие воздействия электромагнитного поля, c - удельная массовая теплоемкость, ρ - плотность, $\sigma_0(j-2)$ – функция Хэвисайда [3]. Индекс $j = 1$ соответствует области, где отсутствуют внутренние источники теплоты, $j = 2$ относится к области, где уже действуют внутренние источники теплоты.

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

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

Выполняется решение уравнения температурного поля с определенными условиями однозначности методом конечных разностей. В этом методе производные, входящие в дифференциальное уравнение теплопроводности, замещаются разностными соотношениями [12].

Из условий геометрической и тепловой симметрии в процессе расчета температурных полей удобно рассмотреть не все заготовку, а лишь ее четвертую часть. Разработанную математическую модель можно применить для исследования температурных полей в керамической заготовке сложной формы на первом этапе ее обработки.

Литература

1. Вахнин М. П., Анищенко А. А. Производство силикатного кирпича. М. Высшая школа, 1989. 191 с.
2. Воронин В. П., Заровнятных В. А. Эффективный силикатный кирпич на основе золы ТЭС и порошкообразной извести // Строительные материалы. 2000. № 8. 24 с.
3. Джеффрис Г., Свирл Б. Методы математической физики. М.: Мир, 1969. 412 с.
4. Дмитриевич А. Д. Тепло и массообмен при твердении кирпича в паровой среде. М. 1967. 244 с.
5. Теплообмен при производстве керамических изделий сложной формы (начальный период нагрева) / Журавлёва Ю. М., Шестаков Н. И., Запатрина Н. В., Ермак О. В. // Череповецкие научные чтения. 2012: Материалы Всероссийской научно-практической конференции (1-2 ноября 2012 г.): В 3 ч. Ч.3: Естественные, экономические, технические науки и математика. Череповец: ЧГУ, 2012. 278 с.
6. Захарович В.С., Шукуров Э.Д. Производство кирпича. Ленинград: Стройиздат, 1988.
7. Зейфман М. И. Изготовление силикатного кирпича и силикатных ячеистых материалов. М.: Стройиздат, 1990. 184 с.
8. Кафаров В. В., Глебов М. Б. Математическое моделирование основных процессов химических производств: Учебное пособие для ВУЗов. М.: Высшая школа, 1991. 400 с.
9. Митрохина М.М., Хвостенков С.И., Донин И.С. 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. Островский Г. М., Волин Ю. М. Моделирование сложных химико-технологических схем. М., Химия, 1975. 312 с.
12. 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.
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. 1998. Vol.22. No.3. Pp.445-458.
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., Makolepszy 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.
20. Rauta S. P., Ralegaonkara R. V., Mandavganeb 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.

References

1. Vahnin M. P., Anishhenko A. A. *Proizvodstvo silikatnogo kirpicha. M. Vysshaja shkola, 1989. 191 s.* (rus)
2. Voronin V. P., Zarovnjatnyh V. A. *Jeffektivnyj silikatnyj kirpich na osnove zoly TJeS i poroshkoobraznoj izvesti // Stroitel'nye materialy. 2000. № 8. 24 s.* (rus)
3. Dzhеffris G., Sviril B. *Metody matematicheskoy fiziki. M.: Mir, 1969. 412 s.* (rus)
4. Dmitrovich A. D. *Teplo i massoobmen pri tverdenii kirpicha v parovoy srede. M. 1967. 244 s.* (rus)
5. *Teploobmen pri proizvodstve keramicheskikh izdelij slozhnoy formy (nachal'nyj period nagreva) / Zhuravljova Ju. M., Shestakov N. I., Zapatrina N. V., Ermak O. V. // Cherepoveckie nauchnye chtenija. 2012: Materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii (1-2 nojabrja 2012 g.): V 3 ch. Ch.3: Estestvennye, jekonomicheskie, tehicheskie nauki i matematika. Cherepovec: ChGU, 2012. 278 s.* (rus)
6. Zaharovich V.S., Shukurov Je.D. *Proizvodstvo kirpicha. Leningrad: Strojizdat, 1988.* (rus)
7. Zеjfmаn M. I. *Izgotovlenie silikatnogo kirpicha i silikatnyh jacheistyh materialov. M.: Strojizdat, 1990. 184 s.* (rus)
8. Kafarov V. V., Glebov M. B. *Matematicheskoe modelirovanie osnovnyh processov himicheskikh proizvodstv: Uchebnoe posobie dlja VUZov. M.: Vysshaja shkola, 1991. 400 s.* (rus)
9. Mitrohina M.M., Hvostenkov S.I., Donin I.S. *Ispol'zovanie othodov TJeS v proizvodstve silikatnogo kirpicha // Trudy VNIStrom. M., 1977. №26. 64 s.* (rus)
10. Obeshhenko G. A., Shifrin E. I. *Matematicheskaja model' i jeffektivnye rezhimy TVO silikatnogo kirpicha // Silikatnaja promyshlennost' 1981. № 12. S. 9-11.* (rus)
11. Ostrovskij G. M., Volin Ju. M. *Modelirovanie slozhnyh himiko-tehnologicheskikh shem. M., Himija, 1975. 312 s.* (rus)
12. Shestakov N. I., Sinicyn N. N., Men'shakova T. N. *Tehnologija izgotovlenija silikatnogo kirpicha s dobavkami shlama kislorodno-konverternogo proizvodstva // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. 2010. T.6. №2. S. 77-80.* (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. 1998. Vol.22. No.3. Pp.445-458.*
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.*
20. Rauta S. P., Ralegaonkara R. V., Mandavganeb 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.*

Modeling of thermal processes with use of iron and steel wastes in the production of silica brick

N. I. Shestakov³, O. V. Ermak⁴

³Cherepovets State University, 5 Lunacharsky prospect, Cherepovets, Vologda region, 162600, Russia,

⁴Saint-Petersburg State Polytechnical University, 29 Polytechnicheskaya st., St. Petersburg, 195251, Russia.

ARTICLE INFO

Article history

Received 10 October 2013
Received in revised form 20 October
2013
Accepted 30 October 2013

Keywords

building materials
sand-lime brick
thermal treatment
mathematical modeling
temperature field

ABSTRACT

Use of waste iron and steel industry in the preparation of materials used in construction, such as sand-lime brick, can significantly save energy. An integral part of the process in the manufacture of sand-lime brick is a heat treatment to a large extent determines the construction and mechanical properties of finished products.

To simulate the process of heating the work piece using a technique based on the solution of differential equations of the temperature field in the absence of internal heat sources. Offer a solution to the equation of temperature field with certain conditions for the unique method of finite differences. A quarter of the work piece based on the conditions of geometrical and thermal symmetry is considered in the modeling process.

³

Corresponding author:

(8202) 51-81-32, shestakovni@chsu.ru (Nikolay Ivanovich Shestakov, D. Sc., Professor)

⁴

+7 (921) 773 9058, ermak_olgavalentinovna@mail.ru (Olga Valentinovna Ermak, Ph. D., Associate Professor)