DOI: 10.17117/na.2016.08.01.233

<http://ucom.ru/doc/na.2016.08.01.233.pdf>

Поступила (Received): 23.08.2016

Макаров Р.И. Управление плотностью листового стекла в процессе выработки

Makarov R.I.
Control density of sheet glass in the process of developing

Разработана математическая модель на нечетких множествах, описывающая зависимость плотности стекла от состава и температуры шихты. Предложена система управления плотностью стекла с использованием модели, описывающей зависимость плотности от состава и температуры шихты. Имитационным моделированием показана возможность стабилизации плотности вырабатываемого стекла на действующем оборудовании за счет управления технологическим процессом подготовки шихты, поступающей на варку стекла

Ключевые слова: плотность стекла, состав шихты, модель, управление

Макаров Руслан Ильич

Доктор технических наук, профессор
Владимирский государственный университет им.
Александра Григорьевича и Николая Григорьевича
Столетовых
г. Владимир, ул. Горького, 87

A mathematical model is developed on fuzzy sets describing the dependence of the glass density from the composition and temperature of the charge. The proposed control system glass density using a model describing the dependence of density on temperature and composition of the charge. Simulation modeling shows the possibility of stabilization of the density of the glass produced on existing equipment due to the control of technological process of batch preparation, applicants for melting glass

Key words: density of the glass, composition of the batch, model, management

Makarov Ruslan Ilyich

Doctor of technical Sciences, Professor
Vladimir state university named Alexander
Grigorievich and Nikolai Grigorievich Stoletovs
Vladimir, Gorky st., 87

Плотность стекла является важной физической величиной, от которой зависят механические, тепловые, оптические и ряд других свойств. Плотность листового стекла при комнатной температуре равна 2,45 – 2,55 г/см³. Отдельные стеклообразующие окислы по-разному влияют на плотность. Плотность зависит также от теплового режима работы стекловаренной печи, предварительной обработки шихты и других факторов. По изменению плотности вырабатываемого стекла судят о стабильности технологического процесса и состоянии производства, определяют допуски на колебания содержания оксидов в листовом стекле [1,с.13]. Ряд авторов предлагают корректировать рецепт шихты при изменении плотности на $5 \cdot 10^{-4}$ г/см³ в сутки и из этих требований определяют допуски на колебание содержания оксидов в листовом стекле [2,с.6]. Другие авторы предлагают стабилизировать плотность коррекцией теплового режима ванной печи за счет изменения расхода газа на первую пару горелок [3,с.27]. В

учебном пособии [4] приведены исследования и математическая модель, описывающая зависимость плотности вырабатываемого стекла от состава шихты и режима работы стекловаренной печи.

Качество листового стекла регламентируется техническими условиями "Стекло листовое" ГОСТ 111-90 и обеспечивается принятым на заводах технологическим процессом производства стекла, который определяется стандартом предприятия. Стандарт предусматривает периодический контроль геометрических параметров ленты, химического состава и свойств вырабатываемого листового стекла, учет пороков в стекле, контроль теплового, гидравлического режимов процесса варки-выработки и анализ состава поступающей шихты. Состав стекла контролируется химическими анализами один раз в неделю, плотность контролируется методом свободного осаждения один раз в сутки [4].

Не оперативность контроля технологического процесса варки-выработки по основным показателям свойств вырабатываемого стекла затрудняет решение задачи управления процессом и своевременное принятие решения по коррекции режима работы технологического оборудования.

В статье рассматривается управление плотностью вырабатываемого листового стекла коррекцией состава и температуры шихты. Для установления причинно-следственной связи плотности стекла от химического состава и температуры шихты проводился статистический анализ данных на выборке объемом 304 измерений, собранной с производства в течение года работы. Плотность вырабатываемого стекла оказалась не стабильной, не описывается нормальным законом распределения. Среднее арифметическое значение плотности составило $2,4949 \text{ г/см}^3$ с дисперсией $67,7 \cdot 10^{-8} (\text{г/см}^3)^2$. Степень влияния компонентов шихты на плотность можно представить следующим убывающим рядом: CaO , Na_2O , SiO_2 , карбонаты, нерастворимые осадки, температура шихты. Точность описания плотности линейным уравнением регрессии с помощью указанных факторов невысокая. Коэффициент детерминации регрессионной модели равен 0,515. Невысокую точность можно объяснить не стационарностью анализируемого процесса, погрешностями измерения компонентов шихты и другими факторами. Для повышения точности описания была построена модель на нечетких множествах с использованием пакета Fuzzy Logic Toolbox программного продукта MATLAB. Коэффициент детерминации разработанной модели составил величину 0,83, что позволяет ее использовать для управления составом шихты в процессе стекловарения.

Методы нечеткого управления позволяют быстро проводить анализ задачи и получать результаты с высокой точностью, что нельзя сказать про традиционные методы анализа с вероятностным подходом [5]. Исследовалось управление плотностью вырабатываемого стекла с использованием модели на нечетких множествах. Эффективность алгоритма управления оценивалась имитационным моделированием работы системы с использованием ретроспективных данных, собранных с действующего производства при ручном управлении процессом стекловарения. Выборка состояла из 300 среднесуточных измерений состава шихты и плотности вырабатываемого стекла. При ручном управлении

процессом среднее значение плотности составляло $2,4949 \text{ г/см}^3$ со среднеквадратичным отклонением $0,00083 \text{ г/см}^3$. Разброс плотности в вырабатываемом стекле находился в пределах от $2,4918$ до $2,4968 \text{ г/см}^3$. Ставилась задача уменьшения разброса плотности вырабатываемого стекла в два раза за счет коррекции состава и температуры шихты. Для решения поставленной задачи был выбран критерий управления в виде штрафной функции:

$$G(\text{Пл}) = \begin{cases} \infty, & \text{если } \text{Пл} > 2,4958, \\ \infty, & \text{если } \text{Пл} < 2,4941, \\ 0, & \text{если } 2,4941 \leq \text{Пл} \leq 2,4958. \end{cases}$$

где Пл – плотность вырабатываемого стекла, г/см^3 .

На диапазон изменения состава шихты и температуры при управлении были наложены ограничения с учетом фактического диапазона их изменения при ручном управлении процессом.

Имитационным моделированием была показана эффективность функционирования системы управления плотностью стекла коррекцией состава и температуры шихты. Получена заданная стабильность плотности листового стекла в процессе выработки. Среднесуточное значение величины плотности в вырабатываемом стекле составило величину $2,4951 \text{ г/см}^3$ с среднеквадратичным отклонением $0,00047 \text{ г/см}^3$. Имитационное моделирование функционирования системы управления плотностью вырабатываемого стекла подтвердило возможность стабилизации плотности стекла коррекцией состава и температуры шихты.

Список используемых источников:

1. Андрюхина Т.Д. и др. Изменение плотности листового стекла в процессе производства // Стекло и керамика. 1986. N2. С. 13-14.
2. Спирин Ю.Л. и др. Расчет оптимального рецепта шихты // Стекло и керамика. 1980. N11. С. 68.
3. Дубинин В.Т., Старчаус И.И., Фомин Ю.В. и др. Особенности варки стекла при нестабильном содержании оксидов железа // Стекло и керамика. 1981. N10. С. 27-28.
4. Макаров Р.И., Хорошева Е.Р., Лукашин С.А. Автоматизация производства листового стекла. М.: Изд-во АСВ. 2002. 192 с.
5. Бураков М.В. Нечеткие регуляторы. Спб.: Изд-во ГУАП, 2010. 237 с.