

Романько Я.В. – ассистент, НМетАУ

Решетняк С.И. – канд. техн. наук, доц., НМетАУ

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ СУШКИ ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОВША С МОНОЛИТНОЙ ФУТЕРОВКОЙ

Используя комплексную математическую модель сушки промежуточного ковша проводился сравнительный анализ различных режимов сушки. В результате предложен более быстрый и безопасный режим. Приведены сравнительные графики изменения влагосодержания и давления в порах бетона в процессе тепловой обработки.

Введение

Для повышения производительности и снижения энергозатрат процесс сушки должен протекать как можно быстрее, но при этом испаряющаяся влага может не успевать проходить сквозь чрезвычайно мелкие поры цементного камня. В результате внутри огнеупорного слоя футеровки резко возрастает давление, что может привести к ее взрывному растрескиванию. Во избежание такого явления режимы сушки состоят из сочетания периодов подъема температуры с заданной постоянной скоростью и выдержки при постоянной температуре. Производители огнеупорных бетонных масс обычно рекомендуют режимы со значительно завышенной продолжительностью [1]. Это вызвано тем, что регламентируемый режим представляет собой график изменения температуры поверхности бетона вне зависимости его толщины, условий теплообмена, формы и других факторов. Поэтому основными критериями качества режима является конечное влагосодержание и максимальное давление в порах бетона в процессе сушки, которые рассчитываются с помощью математических моделей для конкретных условий [1, 2].

Температурные режимы сушки

При помощи разработанной математической модели проводились исследования сушки шести- и семиручьевого промежуточных ковшей [3,4]. Рабочий слой промковша и его крышка имеют толщину 150 мм и изготавливаются из низкоцементной алюмосиликатной массы. Исходный температурный режим сушки, представляющий график изме-

нения температуры поверхности футеровки во времени, приведен на рис. 1. Из него видно, что сушка длится 72 часа и состоит из трех периодов подъема температуры и выдержки и заканчивается при температуре 600 °С.

График изменения максимального давления показан на рис. 2 и имеет ярко выраженный всплеск. Так, на 24^{ом} часе давление составляет всего 0,11 МПа, а его максимальное значение достигается на 36^{ом} часе и составляет 0,59 МПа. Причиной такого резкого роста внутреннего давления пара является нагрев со скоростью 15 °С/ч между 24^я и 36^ю часами.

Из рис. 3 видно, что влага удаляется из футеровки при исходном режиме за 45 часов.

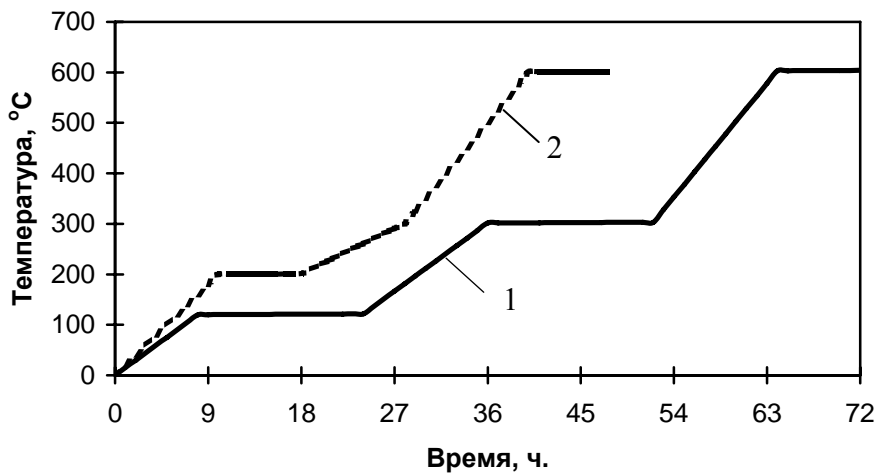


Рис. 1. Температурные графики сушки промковша:
1 – исходный, 2 – новый

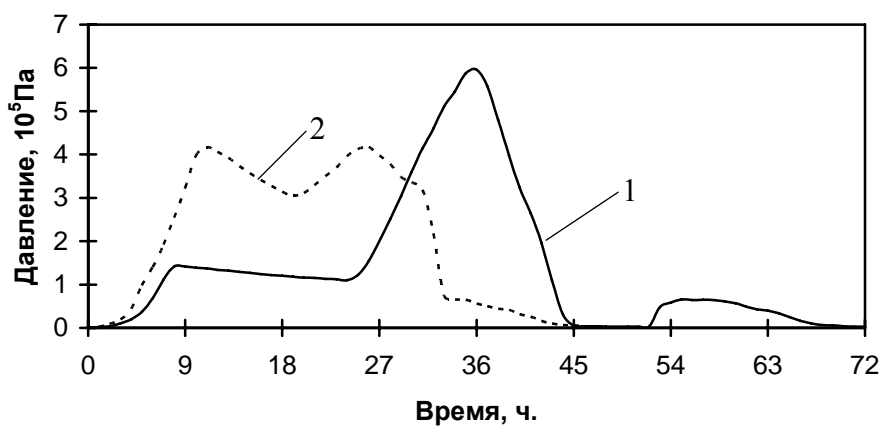


Рис. 2. Изменение максимального давления в стенках промковша в процессе сушки по исходному и новому режимам:
1 – исходный, 2 – новый

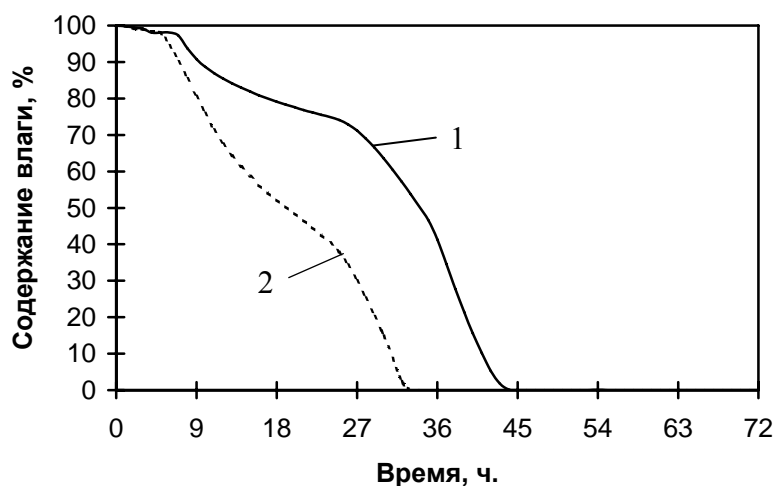


Рис. 3. Изменение полного содержания влаги в стенках промковша в процессе сушки по исходному и новому режимам:
1 – исходный, 2 – новый

На рис. 1 также представлен новый температурный график сушки. Продолжительность процесса 49 часов, что на 23 часа меньше, чем существующий. Сушка также завершается восьмичасовой выдержкой при температуре 600 °С, что позволяет выровнять температурное поле промковша.

За счет более ускоренного разогрева в начале процесса до 200 °С на 10^{0м} часе давление водяного пара внутри стенки составляет 0,42 МПа, однако это на 0,18 МПа ниже, чем максимальное давления при исходном режиме. К тому же это позволяет ускорить процесс сушки. При последующей выдержке давление начинает несколько снижаться до 0,3 МПа, после чего для поддержания давления внутри футеровки идет медленный разогрев поверхности со скоростью 10 °С/ч. Однако после незначительного роста давление начинает снижаться, что свидетельствует о приближении фронта сушки к наружному краю стенки и завершению удаления влаги. Из рис. 3 видно, что влага при новом режиме удаляется за 34 часа, что на 11 часов меньше, чем при исходном режиме сушки.

Применение огнеупорных масс с другими физико-химическими свойствами может существенно изменить параметры процесса сушки. Для иллюстрации этого был исследован процесс сушки наливной футеровки с проницаемостью 1×10^{-13} м/с по тем же температурным режимам, которые приведены на рис. 1.

На рис. 5 видно, что при исходном режиме влага удаляется через 50 часов, а при новом режиме за 36 часов. Таким образом, за счет уменьшения проницаемости бетона процесс удаления влаги при исходном режиме увеличился на пять часов, а при новом режиме – на два.

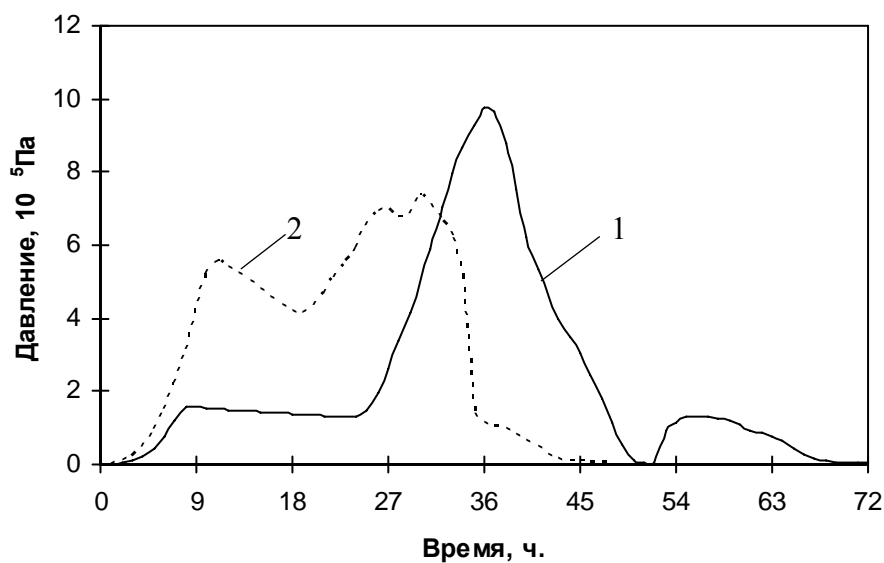


Рис. 4. Изменение максимального давления в стенках промковша в процессе сушки при проницаемости 1×10^{-13} м/с по исходному и новому режимам: 1 – исходный, 2 – новый

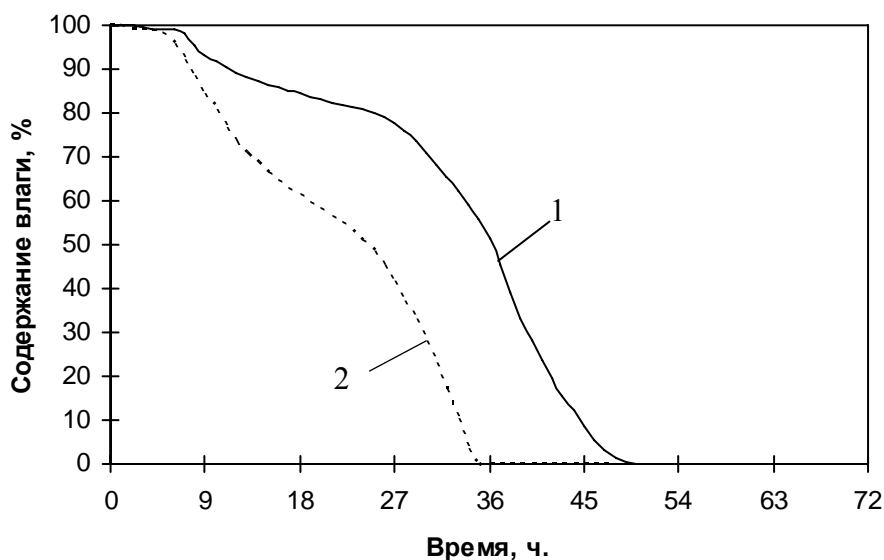


Рис. 5. Изменение полного содержания влаги в стенках промковша в процессе сушки при проницаемости 1×10^{-13} м/с по исходному и новому режимам: 1 – исходный, 2 – новый

Сравнительные характеристики исходного и нового режимов приведены в таблице 1. Как видно из таблицы, уменьшение проницаемости привело к росту максимального давления, поскольку уменьшился диаметр капилляров, по которым удаляется влага к поверхности футеровки. При исходном режиме максимальное давление

достигает 0,98 МПа, а при новом режиме – 0,74 МПа, что снижает опасность взрывного растрескивания.

Таблица 1

Режимы сушки и достигаемые максимальные давления

№ периода	Исходный режим		Новый режим	
	$C_n, ^\circ\text{C}/\text{ч}$	$\tau, \text{ч}$	$C_n, ^\circ\text{C}/\text{ч}$	$\tau, \text{ч}$
1	15	8	20	10
2	0	16	0	8
3	15	12	10	10
4	0	16	25	12
5	25	12	0	8
6	0	8	–	–
$\tau_{\text{общ}}, \text{ч}$		72	49	
$P_{\text{max}}, \text{МПа}$	$a = 2 \times 10^{-13} \text{ м/с}$	0,59	0,42	
	$a = 1 \times 10^{-13} \text{ м/с}$	0,98	0,74	

Выводы

Исходя из полученных характеристик процесса можно сделать вывод, что для огнеупорных масс с рассмотренными характеристиками новый режим сушки является более выгодным, чем существующий. При новом режиме создаются такие температурные условия, при которых снижается давление внутри футеровки и достигается более высокая скорость удаления влаги.

Список литературы

1. Zhen-Xiang Gong and Arun S. Mujumdar. Development of Drying Schedules for One-Side-Heating Drying of Refractory Concrete Slab Based on Finite Element Model. Journal of the American Ceramic Society, Vol. 79, № 6, 1996. – pp. 1649–1658.
2. D.A. Bell and H.M. Winkelbauer, Development of a Computer Program to Model Drying of Castable Blocks and Linings. Refractories Applications and News, Vol. 10, N 2, 2005. – pp. 18–22.
3. Романько Я.В., Решетняк С.И. Исследование сушки наливной футеровки промежуточного ковша. Металлургическая теплотехника. Сб. научн. трудов НМетАУ. Днепропетровск: Новая идеология, 2008. – с. 246–254.
4. Смирнов А.Н. / Процессы непрерывной разливки // А.Н. Смирнов, В.Л. Пилюшенко, А.А. Минаев. – Донецк: ДНТУ, 2002.– 536 с.

Рукопись поступила 30.06.2009 г.