

Отказы некоторых узлов и оборудования электровоза по отдельным составляющим пред-

ставлены в виде гистограмм на рис. 1–2, что позволяет наглядно определить значения величин.

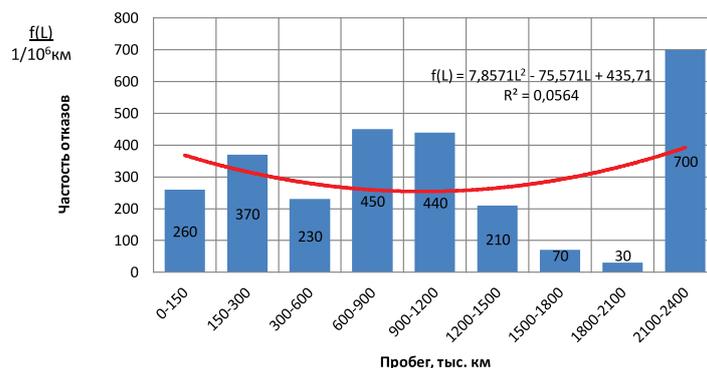


Рис. 1. Гистограмма вариационного ряда наработки тяговых электрических машин на отказ за 2008 год

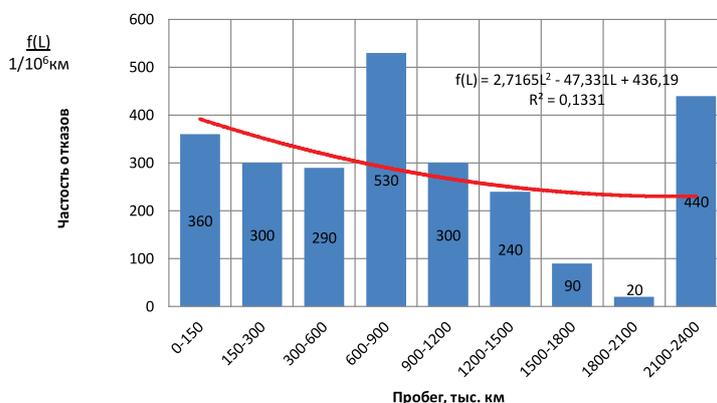


Рис. 2. Гистограмма вариационного ряда наработки тяговых электрических машин на отказ за 2009 год

**Выводы**

1. Полученные результаты позволяют выявить законы распределения отказов отдельных узлов и оборудования.

2. Распределение отказов необходимо учитывать при планировании и проведении профилактических работ электровозов.

Другие данные по отказам приведены в работах [1, 2].

**Список литературы**

1. Петров М.Н. Анализ отказов асинхронных двигателей электровозов на Красноярской железной дороге / М.Н. Петров, А.И. Орленко, Ю.И. Спивак // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – 2012. – № 1. – С. 47–51.  
 2. Анализ вероятности безотказной работы электровозов на Красноярской железной дороге / М.Н. Петров, А.И. Орленко, О.А. Терегулов, Э.В. Лукьянов // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – 2012. – № 5. – С. 77–83.

**ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПОЛУЧЕНИЯ НОВЫХ РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩИХ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ**

Хамраев Ш.И.

Казахский национальный педагогический университет имени Абая, Алматы,  
 e-mail: hamraev\_sh@bk.ru

В производстве керамических материалов важное значение имеют основные теплотехно-

логические процессы – сушка и обжиг. При сушке происходит первичное структурообразование полуфабриката, обеспечивающее ему необходимую прочность для дальнейшей транспортировки и организации процесса обжига. При обжиге происходит завершающее структурообразование и получение керамических изделий с заданными физико-техническими свойствами.

Указанным периодам предшествует подготовка керамических смесей и формование сырца заданной геометрической формы и размера. При этом преимущественно используются методы полусухого (относительная влажность 4–6%) или пластического (18–20%) формования.

По существующей теории [1, 2] процесс сушки капиллярнопористых керамических материалов протекает в два периода. Первый период – период постоянной скорости сушки, где испарение влаги происходит с поверхности материала, а внутри образца масса переносится в виде влаги. Второй период – период падающей скорости, поверхность испарения зонально перемещается внутрь образца, а образованный водяной пар диффундирует через высушенный слой в окружающую среду. Указанным периодом в начале процесса предшествует период нагрева до температуры интенсивной сушки ( $t > 100^\circ\text{C}$ ).

Обжиг является завершающей наиболее энергоемкой и ответственной стадией в технологии керамических материалов, где формируется необходимая структура, придающая изделиям важнейшие физико-механические свойства.

При термической обработке керамических материалов происходят сложные параллельно протекающие процессы переноса при фазовых, химических и структурно-механических превращениях, сопровождающихся в характерных интервалах температур тепловыми и диссипативными эффектами различной природы. Таким образом, научное обоснование и оптимизация теплотехнологических процессов сушки и обжига керамических материалов, прежде всего связаны со всесторонними исследованиями сложных явлений переноса, осложненных физико-химическими превращениями и структурообразованием изделий.

Для теоретических, экспериментальных и численных исследований сложных процессов переноса в технологии керамических материалов нами были успешно использованы современные методы термодинамики необратимых процессов и теории тепломассообмена [3–7].

Для исследования физико-химических превращений, протекающих при термообработке в керамических материалах можно использовать известное уравнение Гиббса, записанное в следующем общем виде

$$TdS = dU + dA_{\text{мех}} + dA_{\text{хим}}, \quad (1)$$

где  $TdS$  – термическая работа;  $dU$  – изменение внутренней энергии термодинамической системы;  $dA_{\text{мех}}$  – механическая работа;  $dA_{\text{хим}}$  – химическая работа.

Для нашего случая уравнение (1) надо дополнить диссипативной работой ( $dA_{\text{дис}}$ ), наблюдаемой в керамических материалах при переносе газообразных веществ ( $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$  и др.) через капиллярнопористую среду:

$$TdS = dU + dA_{\text{мех}} + dA_{\text{хим}} + dA_{\text{дис}}. \quad (2)$$

Расписывая уравнение (2) для изучаемых фазовых и химических превращений и используя экспериментальные данные по кинетике обжига, в результате термодинамического анализа можно определить изменение энтропии диссипативных эффектов в керамических образцах в соответствующих интервалах температур [3–7].

Согласно теории Онзагера, для описания сложных параллельно протекающих и взаимодействующих процессов переноса можно использовать систему уравнений:

$$q_i = \sum_{j=1}^n L_{ij} X_j, \quad (3)$$

где  $q_i$  – удельные потоки, например тепла, массы и т.д.;  $L_{ij}$  – ( $ij = 1, 2, \dots, n$ ) феноменологические коэффициенты;  $X_j$  – термодинамические силы основных и налагающихся процессов.

Учитывая налагающиеся факторы через эффективные значения кинетического коэффициента ( $L_{\text{эф}}$ ) и термодинамической силы ( $X_{\text{эф}}$ ) для изучения основного процесса переноса (например, тепла или массы и т.д.) можно использовать следующее обобщенное кинетическое уравнение

$$q_{\text{эф}} = L_{\text{эф}} \cdot X_{\text{эф}}. \quad (4)$$

В термодинамике необратимых процессов, в соответствии с теорией Онзагера, движущая сила переноса ( $X_{\text{эф}}$ ) определяется из условия скорости возникновения эффективной энтропии ( $S_{\text{эф}}$ ) в единице объема, описываемого следующим уравнением

$$\frac{dS_{\text{эф}}}{dVd\tau} \cdot T = q_{\text{эф}} X_{\text{эф}}. \quad (5)$$

Отсюда можно установить, что термодинамическая сила процесса будет пропорциональной градиенту потенциала ( $\Pi$ ) переноса. Тогда уравнение (4) можно представить в следующем виде

$$q_{\text{эф}} = L_{\text{эф}} (\text{grad} \Pi)_{\text{эф}}. \quad (6)$$

Подставляя в уравнение (6) соответствующие кинетические коэффициенты и потенциалы процесса получим явные кинетические уравнения для описания переноса тепла ( $q_{\text{эф,т}}$ ), массы вещества ( $q_{\text{эф,м}}$ ), и термической деформации ( $q_{\text{эф,ε}}$ ):

$$q_{\text{эф,т}} = -\lambda_{\text{эф}} (\text{grad} T)_{\text{эф}}; \quad (7)$$

$$q_{\text{эф,м}} = -D_{\text{эф}} (\text{grad} \mu)_{\text{эф}}; \quad (8)$$

$$q_{\text{эф,ε}} = -v_{\text{эф}} (\text{grad} \varepsilon)_{\text{эф}}. \quad (9)$$

где  $\lambda_{\text{эф}}$ ,  $D_{\text{эф}}$ ,  $v_{\text{эф}}$  – эффективные значения коэффициентов, соответственно теплопроводности, диффузии и кинематической вязкости;  $T$ ,  $\mu$ ,  $\varepsilon$  – потенциалы процессов переноса, соответственно температура, химический потенциал и относительная деформация.

Первые два уравнения (7) и (8) аналогичны законам Фурье и Фика. Отличием является то, что в приведенных уравнениях эффективные значения кинетических коэффициентов и потенциалов переноса учитывают влияние других налагающихся факторов, например на теплопроводность влияния переноса массы и деформации и т.д.

Вышеприведенные положения рассматривают процессы переноса в стационарных режимах.

В теплотехнологии керамических материалов процессы переноса протекают в сложных нестационарных условиях. Для изучения динамики нестационарных процессов переноса были использованы дифференциальные уравнения, полученные на основе (7), (8) и (9):

$$\left( \frac{\partial T}{\partial \tau} \right)_{\text{эф}} = a_{\text{эф}} (\nabla^2 T)_{\text{эф}}; \quad (10)$$

$$\left( \frac{\partial \mu}{\partial \tau} \right)_{\text{эф}} = a_{\text{эф,м}} (\nabla^2 \mu)_{\text{эф}}; \quad (11)$$

$$\left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial \tau}\right)_{\text{эф}} = v_{\text{эф}} (\nabla^2 \varepsilon)_{\text{эф}}, \quad (12)$$

где  $a_{\text{эф}}$ ,  $a_{\text{эф},m}$  и  $v_{\text{эф}}$  – эффективные коэффициенты теплопроводности, соответственно для процессов переноса тепла, массы и термической деформации.

На основе вышеприведенных теоретических положений и специальных экспериментальных и вычислительных методов были всесторонне исследованы и установлены основные закономерности кинетики и динамики сложных параллельно протекающих и взаимовлияющих процессов переноса при термической обработке керамических материалов из различного природного сырья.

Работы последних лет по получению новых ресурсосберегающих керамических материалов многофункционального назначения ориентированы на использование различных топливосодержащих отходов промышленности (вскрышные породы, углеотходы, золы, шлаки ТЭС и др.) в качестве основного сырья.

В этом направлении учеными Казахстана достигнуты большие научно-практические результаты [8–10].

С другой стороны в современном производстве керамических материалов основную часть технологического топлива, расходуемого на обжиг изделий, вводят в измельченном виде непосредственно в шихту.

Эти факторы приводят еще большему усложнению физико-химических процессов, протекающих при обжиге топливосодержащих керамических материалов. В этом случае явлениям, характерным для природного сырья-глин, еще налагаются процессы горения топлива, запрессованного в керамических материалах.

Вышеприведенные теоретические положения и методы были успешно использованы для исследования сложных процессов переноса при сушке и обжига новых ресурсосберегающих керамических материалов многофункционального назначения. При этом установлены следующие особенности процессов сушки и обжига новых топливосодержащих, в частности, золокерамических материалов [8–12]:

1. Влажностепроводность зологлиняных композиций оптимального состава в среднем 5 раз превышает влажностепроводность традиционного сырья-глины, усадка снижается в 4–5 раз и характеризуется двумя четко выраженными периодами. При этом в первом периоде мера усадки на порядок выше, чем во втором, а граница между ними находится в интервале влагосодержания 23–26% и соответствует резкому снижению роста напряжений в процессе сушки. На основе этих особенностей разработан новый режим сушки золокерамических материалов, вдвое сокращенный по сравнению с сроком сушки традиционной керамики из природного сырья.

2. Выявлены практические возможности направленного регулирования эффективных термических характеристик новых керамических

материалов в области температур интенсивных фазовых превращений и структурообразования (600–850 и 950–1150°C) путем рационального подбора компонентов в зологлиняных композициях. Использование зол, содержащих 40–65% стеклофазы, в качестве основного керамического сырья позволяет повысить значения эффективного коэффициента температуропроводности золокерамики в 2,3 раза, а зол с 10–40% стеклофазы – 1,8 раза, что в свою очередь позволяет соответственно сократить сроки их обжига по сравнению с традиционными материалами. Указанные факторы позволяют в 1,8–3 раза сократить расход технологического топлива на термическую обработку новых золокерамических материалов по сравнению с традиционными.

3. Установлено, что область температур интенсивного выгорания углерода в золокерамических материалах лежит в пределах 800–1050°C, что на 50–200°C ниже, чем максимальная температура обжига изделий. Процессы выгорания углерода способствуют повышению местной температуры и созданию восстановительной среды внутри образца, которые в свою очередь играют существенную роль при формировании прочной пористой структуры золокерамики.

4. Полученные новые ресурсосберегающие золокерамические материалы по своим физико-механическим и эксплуатационным показателям в 1,5–4 раза превосходят традиционные материалы из природного сырья. При этом раскрыты и проанализированы все основные физические и научно-технологические факторы, обеспечивающие указанное повышение качественных показателей.

#### Список литературы

1. Лыков А.В. Теория сушки. – М.: Энергия, 1968. – 472 с., ил.
2. Кулбек М.К., Хамраев Ш.И. К теории второго периода сушки капиллярнопористых материалов // Современные проблемы теории волн и разрушения. – Алматы, 2001. – С. 32–36.
3. Пригожин И.Р. Введение в термодинамику необратимых процессов. – М.: ИЛ, 1960.
4. Хазе Р. Термодинамика необратимых процессов. – М.: Мир, 1967. – 544 с.
5. Лыков А.В. Теплообмен. – М.: Энергия, 1978. – 480 с., ил.
6. Кулбек М.К., Хамраев Ш.И., Алдекеева Д.Т., Кулбеков Д.М. Термодинамика сложных параллельно протекающих процессов переноса в технологии силикатных материалов // Строительные материалы XXI века. Технология и свойства. Импортзамещение. – Алматы, 2001. – кн. 2. – С. 7–12.
7. Ралко А.В., Городов В.С., Зинько Ю.Д., Кравцов И.А. Термодинамические и термографические исследования процессов обжига керамики. – Киев: Вища школа, 1980. – 184 с., ил.
8. Сайбулатов С.Ж., Сулейменов С.Т., Кулбеков М.К. Зологлиняные композиции в производстве строительной керамики. – Алма-Ата: Казахстан, 1986. – 144 с., ил.
9. Сулейменов С.Т., Сайбулатов С.Ж., Кулбеков М.К., Нурбатуров К.А. Экономия сырья и топлива в производстве стеновой керамики: Теплоэнергетические процессы. – Алма-Ата: Наука, 1986. – 176 с., ил.
10. Кулбеков М.К. К теории диффузионной кинетики параллельных твердофазных процессов при обжиге топливосодержащей керамики // ЖПХ. – 1992. – Т. 65. – № 12. – С. 2689–2694.
11. Сайбулатов С.Ж., Кулбеков М.К. Факторы, обеспечивающие высокую морозостойкость стеновой золокерамики // Строительные материалы. – 1983. – № 9. – С. 9.
12. Сайбулатов С.Ж., Кулбеков М.К. Основные факторы экономии топлива при обжиге золокерамических материалов // Строительные материалы. – 1981. – № 10. – С. 13.