

УДК 006.91:621.744.3

Г.А. Оборский, д.т.н., профессор,
Одесский национальный политехнический университет,
И.В. Прокопович, к.т.н., доцент,
Одесский национальный политехнический университет,
А.А. Коряченко,
Одесский национальный политехнический университет

ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ДАТЧИКИ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕСЧАНЫХ ЛИТЕЙНЫХ ФОРМ

Г.О. Оборський, І.В. Прокопович, А.А. Коряченко. **Інтегральні датчики динамічних характеристик піщаних ливарних форм.** При дослідженні складних процесів тепломасоперенесення в гетерогенних середовищах буває необхідним вимірювати не тільки їхні окремі точкові характеристики (температуру, тиск та ін.), але й інтегральні за простором, часом, властивостями. Запропонована класифікація для таких вимірювань та датчики для них.

G.O. Oborsky, I.V. Prokopovich, A.A. Korjachenko. **The integrated sensors of sandy casting molds dynamic characteristics.** At the difficult processes warm-mass-transfer in heterogeneous environments probe it happens necessary to measure not only their separate dot parameters (temperature, pressure and so), but also integrated on space, time, properties. Classification of such measurements and sensors for them are offered.

Введение. Процессы тепломассообмена в литейной форме на этапах ее изготовления и эксплуатации отличаются высокоинтенсивностью, многофакторностью и стохастичностью. Ни один из этих процессов не может быть даже на короткое время зафиксирован в пространстве или времени, поэтому проблема экспериментального измерения их параметров весьма сложна.

1. Постановка проблемы. Существует и еще одна проблема. Известные на сегодняшний день методы измерения основных показателей (температуры, давления, плотности и т.п.) – термометры, манометры и пр. – сводят результат измерения «к точке», чем существенно сужают возможность описания и учета событий, происходящих в системе. Дело в том, что для описания многих взаимодействий и их последствий необходимы интегральные характеристики: по пространству, времени и даже по контролируемым параметрам (рис. 1).

2. Анализ последних достижений и публикаций. Песчаные литейные формы изготавливают из гетерогенных материалов: в них, как минимум, присутствует огнеупорный наполнитель, связующее, влага и поры, заполненные разнообразными по составу смесями газов. Свойства каждого из этих компонентов, в свою очередь, распределены неравномерно, так что говорить о свойствах материала в целом можно только используя некоторые «эффективные», оцениваемые по производимому эффекту, как «напряжение переменного тока» характеристики: плотность, проницаемость, теплоемкость, температуропроводность и т.п. [1].

Непосредственное измерение этих свойств возможно только косвенным, по некоторым промежуточным, измеряемым напрямую показателям с последующим пересчетом на эффективные характеристики [2].

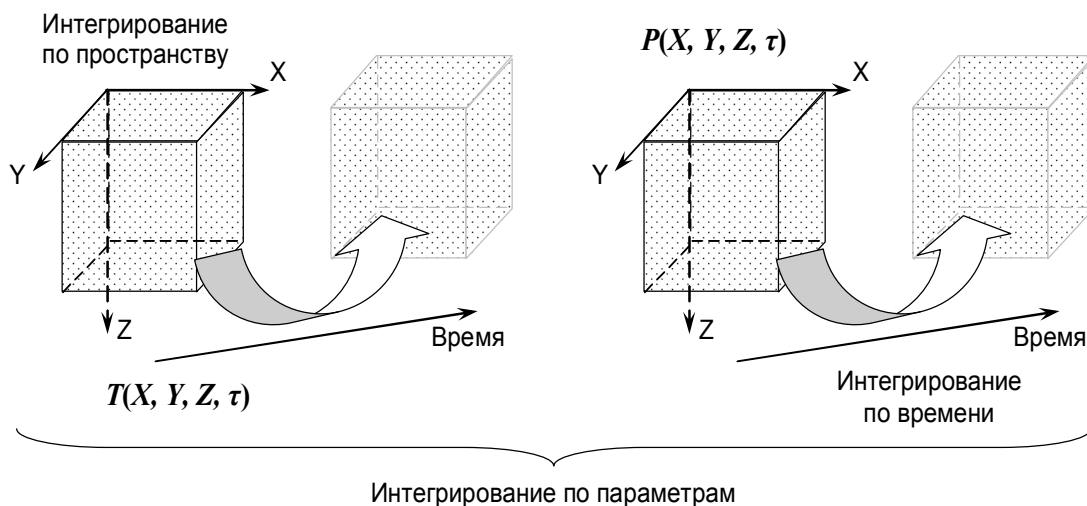


Рис. 1. Схема интегрирования динамической системы «фрагмент литейной формы» по пространству, времени и учитываемым параметрам: температуре T и давлению P .

Такое измерение предполагает необходимое или вынужденное интегрирование свойств, основанное на допущениях о гомогенности измеряемых сред, стабильности свойств на отрезках времени и пр.

3. Целью работы расширение возможности получения информации о процессах, протекающих в гетерогенных средах, путем разработки и внедрения новых интегральных методов измерений и устройств для их реализации.

4. Основной материал. Рассмотрим конкретные примеры для различных уровней интегрирования.

Измерение с интегрированием по пространству. Систематический контроль плотности оболочковых форм в целом либо отдельных ее участков затруднен из-за отсутствия эффективных методов такого контроля без разрушения формы. Метод, предложенный в данной работе, заключается в непосредственном измерении электрической емкости конденсатора, обкладки которого являются составной частью оснастки, в которой форма получена. Такой подход позволяет обеспечить стабильные геометрические параметры конденсатора и высокую точность измерений.

Емкость плоского конденсатора определяется известной зависимостью: $\tilde{N} = \varepsilon \varepsilon_0 S H_M^{-1}$, где ε – диэлектрическая проницаемость среды; $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$; S – площадь обкладок конденсатора; H_M – расстояние между обкладками конденсатора. Для конкретного конденсатора значения величины S и H_M суть постоянные, и имеет место однозначная зависимость между его емкостью и диэлектрической проницаемостью пространства между его обкладками. Если материал, заполняющий пространство неоднороден и представляет собой многофазную систему, то значение ε будет зависеть от диэлектрической проницаемости всех фаз и процентного (массового) их соотношения [3]. В рассматриваемом случае, если в качестве заполнителя промежутка между пластинами конденсатора рассматривать участок оболочковой формы, суммарная диэлектрическая проницаемость последней будет определяться проницаемостью воздуха, связующей смолы и наполнительного песка (т.е. величинами постоянными в пределах данного эксперимента) и соотношение масс пере-

численных компонентов, т.е., в конечном итоге, плотностью данного участка формы.

Для тарировки измерительного прибора непосредственно в размерности плотности ($\text{кг}/\text{м}^3$) для конкретных смесей и конкретных условий измерения была изготовлена калибровочная установка, которая состояла из конденсатора с параметрами: $S = 0,00282 \text{ м}^2$; $H_M = 0,02 \text{ м}$; моста переменного тока Р589 с точностью измерения емкости до 10^{-15} Ф и жестких соединительных проводов. Обкладки конденсатора съемные, расстояние между ними поддерживалось постоянным с помощью фторопластовой скобы.

Формирование, спекание и охлаждение до комнатной температуры образцов производилось непосредственно в обкладках, как части горячего ящика.

Емкость такой установки складывается из входной емкости измерительного прибора $C_{\text{вх}}$, емкости соединительных проводов $C_{\text{пр}}$ и собственно емкости плоского калибровочного конденсатора $C_{\text{к}}$: $C_y = C_{\text{вх}} + C_{\text{пр}} + C_{\text{к}}$.

Значения $C_{\text{вх}}$ и $C_{\text{пр}}$ являются постоянными для конкретного исследования и определяются непосредственным измерением при снятом конденсаторе.

Перед проведением вычислений величину $C_{\text{вх}} + C_{\text{пр}}$ вычитали из измеренного значения C_y .

Оценку погрешности измерения за счет нарушения конфигурации конденсатора осуществляли отдельно по двум параметрам взаимного расположения обкладок.

Процент ошибки при неточности в установке расстояния между обкладками H_M на величину ΔH_M определяли по формуле:

$$\frac{\Delta C}{C} (\%) = \frac{100 \Delta H_M}{H_M + \Delta H_M}, \quad (1)$$

а процент ошибки измерения от взаимной непараллельности обкладок по формуле:

$$\frac{\Delta C}{C} (\%) = 100 \left(1 - \int_{-l/2}^{l/2} \frac{dx}{H_M + x \text{tg} \alpha} \right) = 100 \left(1 - \frac{H_M \text{ctg} \alpha}{l} \ln \frac{2H_M + l \text{tg} \alpha}{2H_M - l \text{tg} \alpha} \right), \quad (2)$$

где l – размер обкладки в плоскости перекося; α – угол между обкладками.

Рассчитанные по формулам (1) и (2) погрешности при стандартных допусках на размер H и угол α даже по шестому классу точности не превосходят 2 – 3 %.

Измерение с интегрированием по пространству и времени. Как известно, сложные физико-химические процессы протекают во времени, недостаток которого зачастую приводит к фиксации неравновесных состояний системы.

Поэтому при анализе процессов, происходящих в системе «отливка – форма», время является важнейшим фактором. Так, мало нагреть некоторый объект до температуры физического или химического преобразования, – необходимо при этой температуре выдержать этот объект для его завершения.

Это значит, что мало иметь информацию о максимальной температуре, которую достигал объект, необходимо также знать, сколько времени длилось такое состояние, измерять некоторую интегральную характеристику температуры во времени, т.е. фактически, измерять *энергию*, полученную объектом в процессе нагрева.

Аналогічно, для діагностики порушень важко мати сведения об історії змінення тиску газів в формі, т.е. також деяку його інтегральну характеристику.

Це відкриває нові можливості для нестандартних підходів з точки зору техніки вимірювання і конструкції застосовуваних для цього датчиків, в частині, запропонувати ідентифікатори минулого стану, перетворення чутливих елементів яких, дозволяє в подальшому (після закінчення процесу) інтегрально судити про стани, в яких знаходився цей елемент.

Благодаря цьому, такі складні для інтегральної оцінки проміжні показники, як температура форми і час, на протязі якого вона діяла, тиск газів в порі формі і пр., виводяться в список вихідних, що, в свою чергу, дозволяє відмовитися від практично в реальному виробництві невиконаної ідеї щось виміряти в формі в процесі охолодження литви.

В якості прикладу такого чутливого елемента *для температури і часу нагріву* в роботі служив стовпчик початкової піщано-смоляної суміші (це зручно, т.к. при литві в піщано-смоляні форми не потрібно спеціально готувати суміш для датчиків) або стовпчик порошку легкоплавкого скла. Порошки знаходяться в спеціальній оснастці-датчику, що дозволяє з однієї сторони нагрівати стовпчик всередині досліджуваного об'єкта, а з іншої, – прикладати до нього механічне стискаюче зусилля (рис. 2).

Датчик встановлюється в форму так, як це показано на рис. 3 а, б (в роботі це робили вручну, але при необхідності, процес можна механізувати).

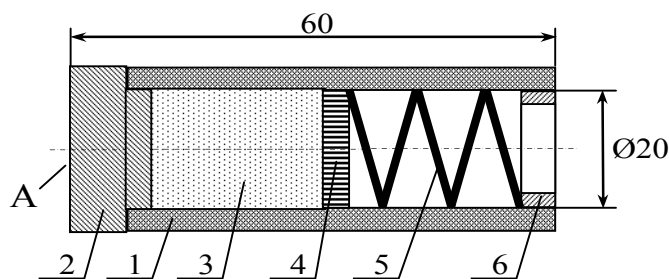


Рис. 2. Схема датчика минулого стану системи «литва – форма»:

- 1 – керамічний стакан; 2 – металічне (мідне) дно;
- 3 – стовпчик порошку чутливого елемента;
- 4 – пористий металокерамічний поршень; 5 – пружина; 6 – упор.

При надходженні тепла з боку поверхні А (рис. 2) стовпчик порошку односторонньо нагрівається, при цьому його фізико-хімічне стану (розм'якшення смоли з подальшою її поліконденсацією) змінюється не одночасно, а по мірі його прогріву від металічного дна пристрою.

Відомо [4], що при торцевому нагріву і стисненню стовпа *піщано-смоляної суміші* можливо утворення двох шарів різної щільності (рис. 3 в):

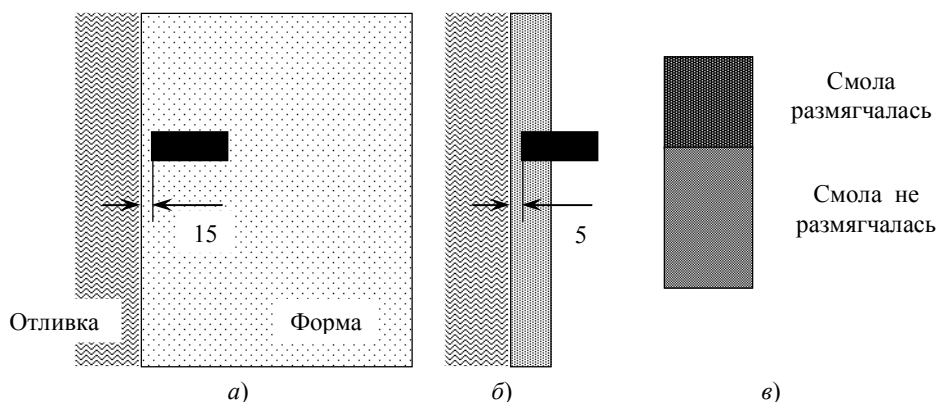


Рис. 3. Схема установки датчиков в песчано-глинистую (а) и песчано смоляную (б) формы и состояние датчика после выбивки (в).

результат цепочки физико-химических процессов: исходного сжатия «сухой» смеси и «пластичного» сжатия смеси, у которой связующее – новолачная мономерная смола – находится в размягченном от нагрева состоянии.

Дальнейший нагрев за счет поликонденсации смолы фиксирует эти состояния чувствительного элемента.

Также два слоя образуются в этих условиях у столбика *порошка стекла*, только механизм такого расслоения иной – физический процесс уплотнения прогретого слоя стекла из-за его оплавления под механической нагрузкой сжатия.

Изменения в состоянии чувствительного элемента не могут быть легко измерены ни в процессе литья, ни после его окончания, однако существует один показатель прямого измерения – его *газопроницаемость*, по величине которой можно судить о процессе в целом.

Такую газопроницаемость измеряли с помощью стандартного прибора модели 04315 после извлечения датчика из остатков формы, при этом время между извлечением и измерением не влияло на его результат.

Основные данные прибора: диапазон измерений 30 – 300, 300 – 1000 единиц газопроницаемости, давление воздуха под колоколом $980,7 \pm 9,8$ Па, абсолютная погрешность в пределах измерений: 30 – 300 ± 15 ед., 300 – 1000: ± 50 ед. Узел для установки датчика представляет собой переделанный под диаметр гильзы 20 мм обрезиненный усеченный конус с центральным и боковым каналами.

Естественно предположить, что газопроницаемость элемента будет некоторой интегральной функцией температуры и времени нагрева чувствительного элемента:

$$\tilde{A} = f \left(\int_0^{\tau_k} T(\tau) d\tau \right), \quad (3)$$

где Γ – газопроницаемость, ед; τ_k – время окончания наблюдения, с; T – температура в контрольной точке, К.

На рис. 4 представлены калибровочные кривые интегрального датчика температуры.

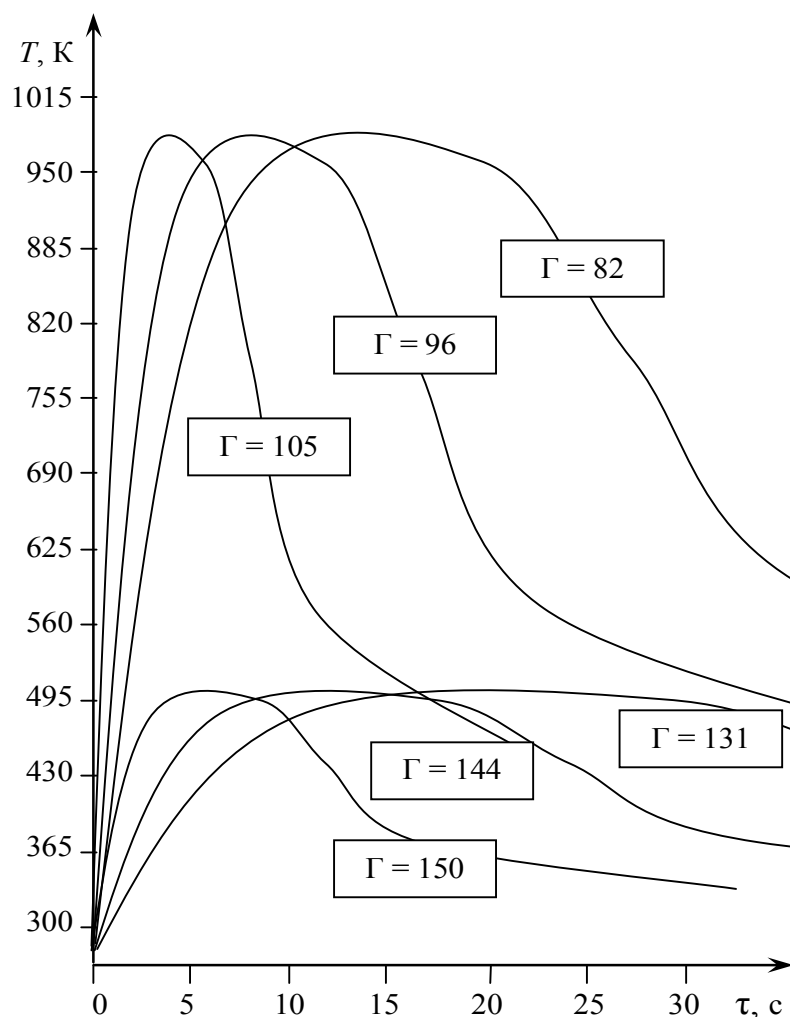


Рис. 4. Калибровочные кривые интегрального датчика температуры.

Измерение с интегрированием по пространству, времени и параметрам.

Как видно из рисунка, итоговая газопроницаемость Γ , а значит, и интегральная характеристика по пространству и времени, не отражает однозначно картину фактического изменения формы во времени наблюдения.

Поэтому такой показатель, сам по себе, не может служить прямым основанием для диагностики нарушения технологического режима.

Поэтому в работе его использовали как отдельный элемент входа интеллектуальной системы обработки данных измерения двух параметров.

В качестве дополнительного датчика *давления газов в форме* в работе служил датчик давления фирмы Freescale модели MPXV5004, имеющий выходной сигнал по напряжению.

Датчик основан на интегральных чувствительных элементах из монокристаллического кремния.

Кремниевые преобразователи имеют высокую чувствительность благодаря изменению удельного объемного сопротивления полупроводника при деформировании давлением.

Преобразователь давления расположен в герметичном металлостеклянном корпусе, с разделительной диафрагмой из нержавеющей стали, передающей дав-

ление измеряемой среды посредством кремнийорганической жидкости [5].

Выводы. В литейном цехе ОАО «Бердичевский машиностроительный завод «Прогресс» было проведено испытание подсистемы повышения качества отливок путем интеллектуального мониторинга технологии литейного производства. В качестве объекта испытания использовали технологический процесс литья стальных отливок «Корпус» в песчаные формы. В результате испытания установлено, что использование новых методов измерений позволило за счет эффективного мониторинга технических и организационных нарушений технологического процесса литья уменьшить количество дефектных отливок приблизительно на 42 % от начального значения.

Литература

1. Михайлов, А.М. Литейное производство / А.М. Михайлов, Б.В. Бауман, Б.Н. Благоев. – М.: Машиностроение. – 1987. – 258 с.
2. Куманин, И.Б. Вопросы теории литейных провесов. – М.: Машиностроение, 1978. – 216 с.
3. Аксенович, Л. А. Физика в средней школе: Теория. Задания. Тесты / Л.А. Аксенович, Н.Н.Ракина, К.С. Фарино. – Мн.: Адукацыя і выхаванне, 2004. – С. 240 – 242.
4. Становский, А.Л. Повышение качества проектирования специальных способов литья / Дисс. ... докт. техн. наук: 05.16.04. – Одесса: ОПИ, 1992. – 299 с.
5. Вавилов, В.Д. Интегральные датчики давления. Конструкция и технология / В.Д. Вавилов, П.Ф. Кругликов, Ю.А. Толочков. – М.: МАИ, 2001. – 48 с.