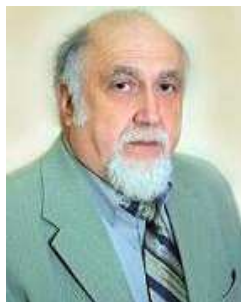


УДК 621.74.08



**А.Л. Становский,**  
д.т.н., профессор,  
Одесский национальный  
политехнический  
университет  
e-mail: stanovsky@mail.ru



**И.В. Прокопович,**  
к.т.н., доцент,  
Одесский национальный  
политехнический  
университет  
e-mail:  
igor.prokopovich@gmail.com



**М.А. Духанина,**  
магистр,  
Одесский национальный  
политехнический  
университет  
e-mail: marianna.dukhanina  
@gmail.com

## НЕРАЗРУШАЮЩИЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ФРАГМЕНТОВ ПЕСЧАНЫХ ЛИТЕЙНЫХ ФОРМ

*А.Л. Становский, И.В. Прокопович, М.А. Духанина.* Неразрушающий метод измерения плотности фрагментов песчаных литейных форм. Показано, что измерения плотности гетерогенной песчаной формы невозможно без ее разрушения. Предложенный метод косвенного измерения плотности, состоит в определении емкости конденсатора, у которого в качестве обкладок используется металлическая формовочная оснастка, а в качестве заполнителя пространства между обкладками - измеряемый фрагмент формы.

*A.L. Stanovsky, I.V. Prokopovich, M.A. Dukhanina.* Non-destructive method for measuring the density of fragments of sand molds. It is shown that the measurement of sand density heterogeneous forms possible without destroying it. We propose a method of indirect measurement of density, which consists in determining the capacity of the condenser, which is used as the metal plates forming equipment, and as a filler space between the plates - as measured by fragment shape.

Систематический мониторинг плотности литейных форм в целом либо отдельных ее участков затруднен из-за отсутствия эффективных методов такого контроля без разрушения формы. Действительно, от соотношения плотностей различных плотностей различных участков формы во многом зависит интенсивность процессов тепломассообмена в последней, а следовательно, и качество отливок [1]. К сожалению, когда форма изготовлена, невозможно без разрушения измерить плотность ее фрагментов, что резко ограничивает возможности постоянного мониторинга всех форм на литейном конвейере. 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 зависимостью [2]:

$$C = \varepsilon \varepsilon_0 S H_M^{-1}, \quad (1)$$

где:  $\varepsilon$  – 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 обкатками. Если материал, заполняющий пространство неоднороден и представляет собой многофазную систему, то значение  $\varepsilon$  будет зависеть от диэлектрической проницаемости всех фаз и процентного (массового) их соотношения [3].

Если в качестве примера 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 перечисленных 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 (рис. 1), которая состояла из конденсатора с параметрами:  $S = 0,00282 \text{ м}^2$ ;  $H_M = 0,02 \text{ м}$ ; моста переменного тока с точностью измерения емкости до  $10^{-15} \text{ Ф}$  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  $C_{\text{к}}$ :

$$C_y = C_{\text{вх}} + C_{\text{пр}} + C_{\text{к}} \quad (2)$$

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  $C_y$ .

Для построения расчетной номограммы изготовили 100 образцов, плотности которых изменялись от  $d_{\text{min}} = 1267 \text{ кг}/\text{м}^3$  до  $d_{\text{max}} = 1626 \text{ кг}/\text{м}^3$ .

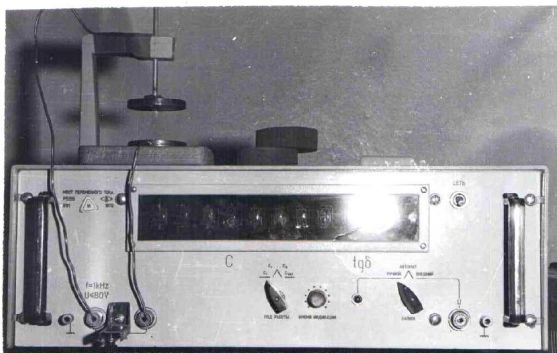


Рис. 1. Калибровочная установка для построения зависимости емкости конденсатора от плотности оболочковой литейной формы

В таблице 1 представлены значения плотностей полученных образцов и вычисленные по формуле (2) емкости калибровочного конденсатора, в котором при измерении образцы выполняли роль диэлектрика.

Обработка полученных данных с учетом конкретных размеров калибровочного конденсатора позволила получить выражение, позволяющее вычислять среднюю плотность исследуемого фрагмента оболочковой формы, если известна емкость измеряющего конденсатора  $C$ , а также площадь его обкаток и расстояние между ними  $H_M$ :

$$d = 93 \cdot 10^{12} C H_M S^{-1} - 774. \quad (3)$$

Достоверность формулы подтверждается практическим совпадением значений  $C$  для случаев расчета по формуле (3) при подстановке  $d=0$ ,  $S=0,00282$ ;  $H_M=0,02$ ; расчетом по формуле (1) при подстановке диэлектрической проницаемости воздуха  $\epsilon_b=1,00059$  [4] и непосредственным измерением на калибровочной установке при отсутствии между обкатками образца (таблица 2). Оценку погрешности измерения за счет нарушения конфигурации конденсатора осуществляли отдельно по двум параметрам взаимного расположения обкаток.

Процент ошибки при неточности в установке расстояния между обкатками  $H_M$  на величину  $\Delta H_M$  определяли по формуле:

$$\frac{\Delta C}{C} (\%) = \frac{100 \Delta H_M}{H_M + \Delta H_M}, \quad (4)$$

а процент ошибки измерения от взаимной непараллельности обкладок по формуле:

$$\frac{\Delta C}{C} (\%) = 100 \left( 1 - \int_{-l/2}^{l/2} \frac{dx}{H_M + x \operatorname{tg} \alpha} \right) = 100 \left( 1 - \frac{H_M \operatorname{ctg} \alpha}{l} \ln \frac{2H_M + l \operatorname{tg} \alpha}{2H_M - l \operatorname{tg} \alpha} \right), \quad (5)$$

где:  $l$  – размер обкладки в плоскости перекося;  
 $\alpha$  – угол между обкладками.

Таблиця 1

Зависимость емкости калибровочного конденсатора от плотности образца

Образец	Параметры образца		Значения показателей	
	$m \times 10^3$ , кг	$d$ , кг/м <sup>3</sup>	$C_k \times 10^{12}$ , Ф	□
Воздух	–	–	1,249	1,00059
1	71,459	1267	3,130	2,50831
2	71,966	1276	3,148	2,52274
3	76,760	1361	3,262	2,61410
4	76,930	1364	3,296	2,64134
5	77,042	1366	3,301	2,64535
6	78,001	1383	3,333	2,67099
7	78,565	1393	3,375	2,70465
8	79,073	1402	3,391	2,71747
9	79,862	1461	3,420	2,74071
10	81,216	1440	3,425	2,74710
11	81,329	1442	3,430	2,74873
12	81,667	1448	3,451	2,76556
13	83,867	1487	3,486	2,79360
14	84,544	1499	3,509	2,81204
15	85,390	1514	3,541	2,83768
16	86,292	1530	3,575	2,86493
17	87,533	1552	3,602	2,88656
18	89,056	1579	3,631	2,90980
19	90,127	1598	3,688	2,95548
20	91,706	1626	3,773	3,02360

Рассчитанные по формулам (4) и (5) погрешности при стандартных допусках на размер Н и угол  $\alpha$  даже по шестому классу точности не превосходят 2 – 3%.

Таблиця 2

Ошибка измерения емкости различными методами

Условие определения	По формуле (1)	По формуле (3)	Измерение
Значение $C$ , Ф	$1,173 \cdot 10^{-12}$	$1,248 \cdot 10^{-12}$	$1,186 \cdot 10^{-12}$
% ошибки	–	6,0	1,1

На рисунку 2 показана схема измерения емкости фрагментов армированной оболочковой формы, образующих вместе с нижними гранями ребер и металлической моделью плоский конденсатор. Взаимное расположение модели и опоки с ребрами строго фиксировалось с помощью штырей. Между модельной плитой и опокой помещали диэлектрическую прокладку. Предварительно для каждого опыта измеряли значения  $C_{вх}$  и  $C_{пр}$  системы, которые учитывали в последующих расчетах.

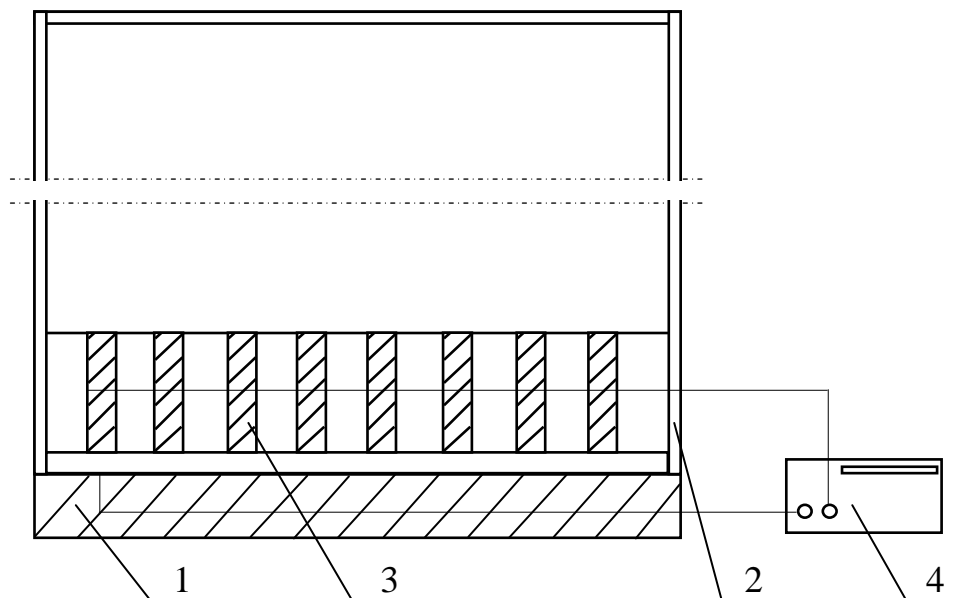


Рис. 2. Схема измерения емкости фрагментов металлооболочковой формы в оснастке: 1 – модель; 2 – бункер; 3 – ребро; 4 – измерительный мост

Плотность для каждого отдельного случая рассчитывали по номограмме (рис. 3). Для этого на осях  $H$  и  $S$  откладывали соответствующие значения  $H_1$  и  $S_1$ , а на оси  $C$  – измеренное значение  $C_1$ . На пересечении линии  $H_1C_1$  с осью  $P$  находили точку  $P_1$ . Затем проводили прямую  $P_1S_1$  и продолжали ее до пересечения с осью  $d$ . Точка пересечения и определяет плотность данной формы (или участка). При построении номограммы использовали методику, изложенную в [5].

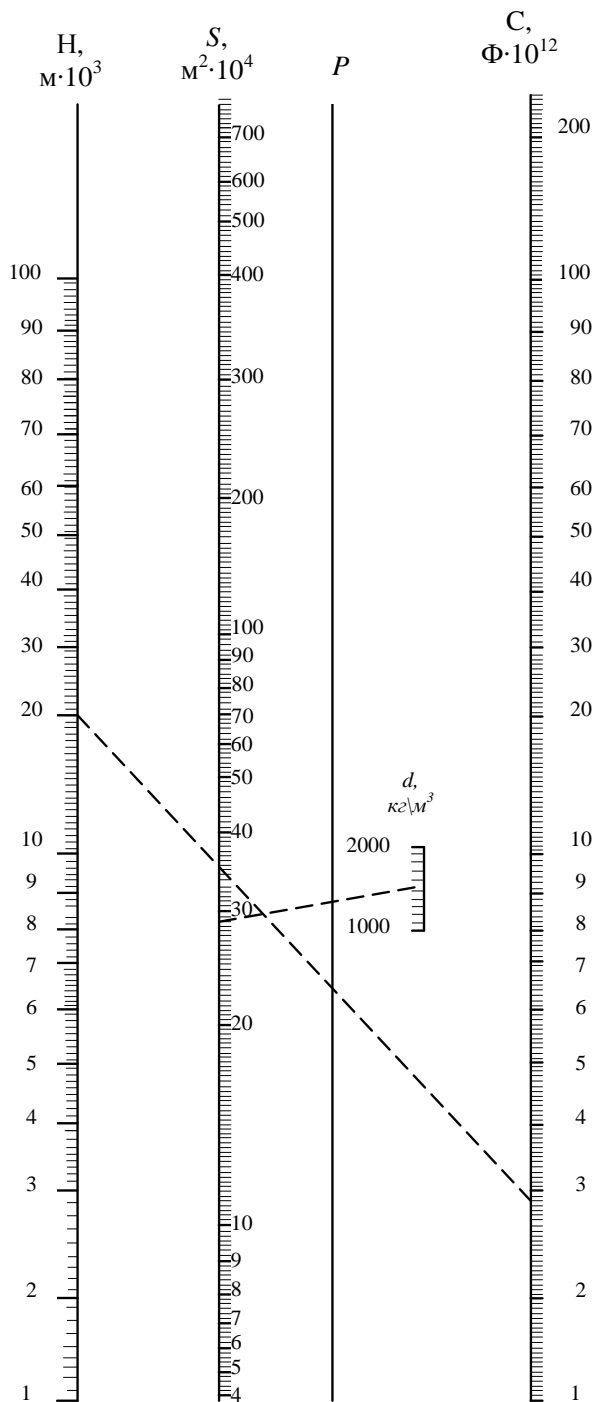


Рис. 3. Номограмма для расчета плотности оболочковых форм

### Література

1. Дорошенко, С.П. Получение отливок без пригара в песчаных формах / С.П. Дорошенко, В.Н. Дробязко, К.И. Ващенко – М.: Машиностроение, 1978. – 208 с.
2. Справочник машиностроителя. Том 2. – М: Машгиз, 1961. – 740 с
3. Потапов, А.И. Неразрушающий контроль конструкций из композиционных материалов/ А.И. Потапов, Ф.П. Пеккер – Л.: Машиностроение, 1977. – 202 с.
4. Кошкин, Н.И. Справочник по элементарной физике/ Н.И.Кошкин, М.Г. Шишкевич – М.: Наука, 1976. – 256 с.
5. Становский, А.Л. Неразрушающий контроль плотности оболочковых форм / А.Л. Становский, Ф.Д. Оболенцев, Ю.А. Селиванов // Известия вузов. Черная металлургия. – 1978. – № 6. – С. 12 – 15.