

СОЗДАНИЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ФОРМОВОЧНОЙ СМЕСИ НА ОСНОВЕ НЕПРЕРЫВНОГО КОНТРОЛЯ ЕЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

С.Розин, И.Резарт

Оперативный контроль и управление свойствами формовочной смеси на стадии смесеприготовления является обязательным условием получения качественной литейной формы и, соответственно, качественных отливок. В то же время эта проблема остается одной из самых острых в современном литейном производстве, что связано, в первую очередь, с трудностью автоматизации контроля параметров формовочной смеси и наличием случайных факторов, влияющих на ее свойства.

При создании систем автоматического управления процессами смесеприготовления основным контролируемым параметром в большинстве случаев выбирается влагосодержание [1,2], а основным инструментом оперативного воздействия - дозирование воды, вводимой в состав. Остальные факторы, определяющие свойства приготавливаемой смеси: количество и соотношение подаваемых в смеситель компонентов (связующее, наполнитель, спецдобавки и время перемешивания при этом сохраняются неизменными). Они задаются избранной технологией и требованиями, предъявляемыми к литейной форме.

Такой подход связан с несколькими объективными причинами. Во-первых, необходимость постоянной корректировки количества подаваемой в смеситель

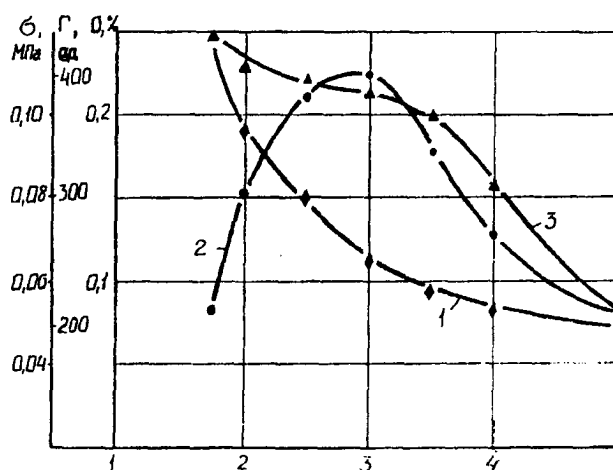


Рис. 1. Влияние влажности на качественные характеристики формовочной смеси:

1 - осыпаемость; 2 - прочность на сжатие;
3 - газопроницаемость.

воды вызвано непрерывными колебаниями влажности оборотной формовочной смеси, которая, в свою очередь, определяется заранее заданными параметрами

технологического процесса: существующим режимом охлаждения и обеспыливания смеси, протяженностью транспортирующих конвейеров и т. п., и случайными переменными факторами: температурой и влажностью воздуха в цехе, остановками и перерывами в технологическом процессе, изменением номенклатуры изготавливаемых отливок и пересечением технологических потоков разных формовочных линий.

Во-вторых, влажность песчано-глинистой смеси оказывает непосредственное влияние на ряд ее важнейших качественных показателей: прочность, газопроницаемость, поверхностную прочность или осыпаемость и т.д. (рис.1).

Известные методы автоматического контроля и управления влажностью смеси условно можно разбить на две группы. К первой могут быть отнесены методы, основанные на опосредованном контроле влажности, например, путем определения текучести смеси. Устройствами, работающими на этом методе, оснащено смесеприготовительное оборудование фирмы "GISAG". Смесь непрерывно поступает из смесителя в пробоотборник, и по изменению ее текучести (способности перекрывать, не просыпаясь, щель определенного размера) определяется момент прекращения подачи воды. Этот метод имеет ряд существенных недостатков: не дает количественного определения влажности, обладает высокой инерционностью, сопряжен с необходимостью установки специального устройства для отбора проб.

Ко второй группе можно отнести так называемые электрофизические методы: электрокондуктометрический, емкостный, нейтронный, метод ядерного магнитного резонанса и др. /3.4/. Нейтронный метод и метод ядерного резонанса не получили широкого распространения из-за дороговизны, сложности и небезопасности.

Кондуктометрический метод является, пожалуй, наиболее простым из известных электрических методов контроля влажности. Он основан на

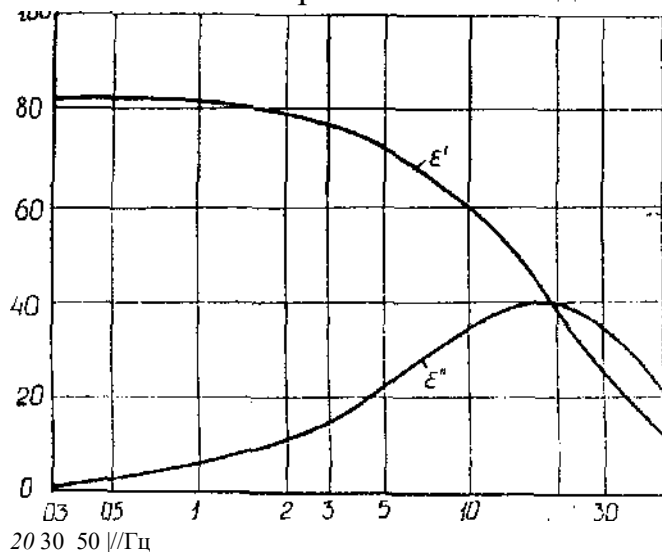


Рис. 2. Зависимость проводимости (силы тока) от влажности формовочной смеси.

измерении электропроводности (или силы тока) влажного материала, которая изменяется в зависимости от влагосодержания. Однако применение этого метода для контроля процесса смесеприготовления в литейном производстве практически невозможно, т.к. при низком уровне влажности (влажность готовой смеси, как правило, не превышает 4%, а исходных материалов - 0,5-1,5%) собственная проводимость формовочных материалов достаточно низка, изменения ее при колебаниях влагосодержания незначительны (рис.2 /3/), и решающее значение приобретают такие факторы, как проводимость и количество примесей, содержащихся в смеси, плотность смеси, наличие кислот, температура смеси и др. /3/.

Емкостные влагомеры основаны на измерении величины емкости конденсатора, между обкладками которого находится исследуемый материал. Так как диэлектрическая проницаемость (ϵ'_g) воды в десятки раз превышает проницаемость большинства сухих веществ (соответственно 80 ед. у воды и 2-4 у глины и песков), то, оценив емкость конденсатора с влагонасыщенным материалом, можно определить его влажность. При этом, однако, для обеспечения адекватности показаний необходимо обеспечить равномерное заполнение пространства между обкладками конденсатора контролируемым материалом, без зазоров и с постоянной плотностью, что фактически требует специального формирования исследуемого объема. Кроме того, использование емкостного метода для контроля влажности формовочной смеси затрудняется тем, что для достижения требуемой точности изменений в пределах $\pm 0,2\%$ по влажности необходимо исключить колебания диэлектрической проницаемости основных компонентов смеси (песка и глины) $\epsilon'_{п+г}$ превышающие 1%.

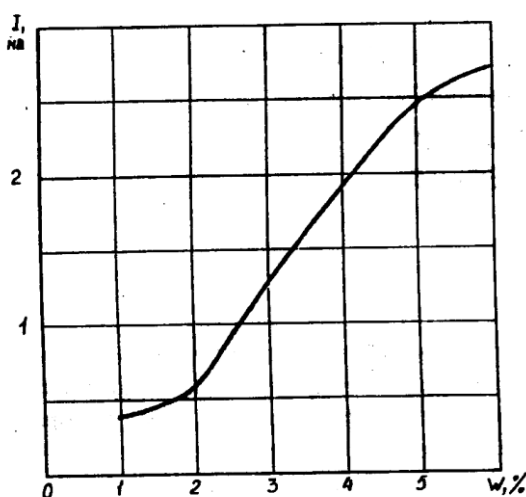


Рис. 2. Зависимость проводимости (силы тока) от влажности формовочной смеси.

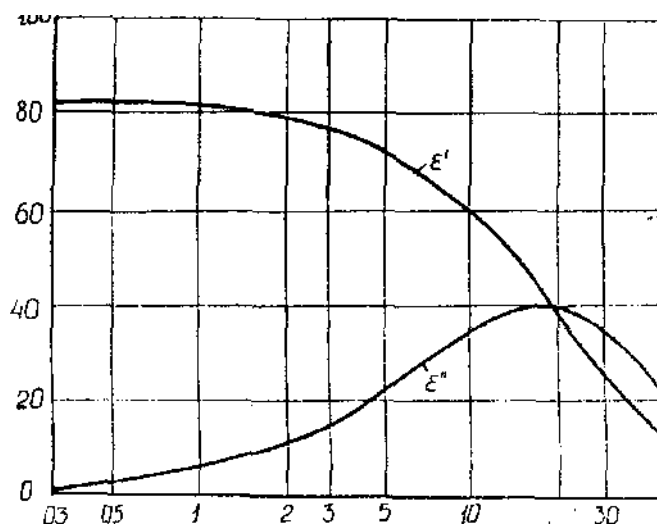


Рис. 3. Диэлектрические характеристики воды в СВЧ - диапазоне

Последнее требование становится очевидным при рассмотрении структуры диэлектрической проницаемости смеси:

$$\sqrt{\epsilon'_{CM}} = W \sqrt{\epsilon'_B} + (1 - W) \sqrt{\epsilon'_{ПГ}} + 1, \quad (1)$$

где ϵ'_{CM} - диэлектрическая проницаемость смеси;

ϵ'_B - диэлектрическая проницаемость воды;

W - влажность.

Так как реальный уровень влажности в процессе приготовления формовочной смеси не превышает, как правило, 4%, второе слагаемое на порядок превышает первое, и, следовательно, малейшие отклонения диэлектрических характеристик наполнителя приводят к существенным искажениям в показаниях влажности, полученных емкостным методом.

Специалистами кафедры "Машины и технология литейного производства" БГПА предлагается принципиально новый метод контроля и управления качеством формовочной смеси, который основывается на принципах микроволновой влагометрии. Этот метод, так же, как и емкостный, предполагает использование аномальных диэлектрических свойств воды. А именно то, что благодаря несимметричному расположению мостиков O-H, образующих угол 105° , молекула воды является "естественным" диполем. В связи с этим помещенная в переменное электромагнитное поле молекула воды начинает колебаться, разворачиваясь вдоль силовых линий (дипольная поляризация), что приводит к ослаблению (поглощению) электромагнитного импульса. Для абсолютного же числа других диэлектриков имеет место лишь электронная или атомная поляризация, не вызывающая заметного ослабления. Так, 1 см воды

ослабляет радиоволновой сигнал (в СВЧ- диапазоне) в 10000 раз, в то же время сотни метров песка, глины, известняка и т.п. практически радиопрозрачны.

Поглощающую способность материала можно охарактеризовать, используя понятие "мнимой" диэлектрической проницаемости $\varepsilon''_M (\varepsilon_M = \varepsilon'_M - j\varepsilon''_M)$. В критическом (резонансном) диапазоне (3-30 ГГц) ε'' воды приближается к 40 ед., в то время как для абсолютного большинства сухих материалов $\varepsilon''_M \rightarrow 0$. Значение ε''_M пропорционально коэффициенту поглощения исследуемого материала α_M , который, с некоторыми допущениями, может быть представлен следующим образом (6):

$$\alpha_M \cong \frac{\pi}{\lambda} \frac{\varepsilon''}{\sqrt{\varepsilon'}}, \quad (2)$$

где λ - собственная длина волны используемого СВЧ-волновода. Из графиков, представленных на рис.3, видно, что в диапазоне сантиметровых и миллиметровых волн ($\lambda \geq 3$ ГГц) выполняется неравенство:

$\varepsilon'' \gg \sqrt{\varepsilon'}$. Учитывая сказанное, определение коэффициента поглощения смеси (α_{CM}) сводится к решению достаточно простой практической задачи, известной в радиоинженерии как определение уровня ослабления радиоволн (N), проходящих через слой влажного материала:

$$\alpha_{CM} \cong N = 8,7 \alpha_B W \rho L \quad (3)$$

где 8,7 - поправка, связанная с переходом от измерений в „нипперах" к „ДБ";

W - влажность, исследуемого материала;

ρ - плотность материала;

L - толщина материала;

α_B - коэффициент поглощения воды.

Так как коэффициент поглощения микроволн сухим материалом практически равен нулю, то теоретически не существует ограничений на повышение точности измерения влажности на микроволнах методом поглощения. На практике при определении предела точности необходимо учитывать: влияние температуры материала на величину коэффициента поглощения α_B (рис. 4), нестабильность плотности материала и неточность задания его толщины между передающей и приемной антеннами. Однако эти трудности преодолимы. Так как температурная зависимость коэффициента поглощения известна, она легко компенсируется введением во влагомер дополнительного канала коррекции по температуре материала. Стабильность параметра L обеспечить достаточно просто, расположив антенны на столь большом расстоянии, что его относительные флуктуации (вибрации, различные деформации и т.д) будут незначительны. Насыпная плотность формовочной смеси является функцией влажности и при конвейерных измерениях может быть интегрирована до приемлемых флуктуаций. В лабораторных измерениях « L » и « ρ » задаются условиями эксперимента.

На рис. 5 показана экспериментальная зависимость ослабления микроволн с частотой 10 ГГц от влажности формовочной смеси. Плотность формовочной

смеси - $1,3 \text{ г/см}^3$, толщина – 50мм, измерения проводились в отрезке стандартного волновода методом замещения [7]. Результаты хорошо описываются теоретическим выражением (3). Получающееся несколько завышенное значение $\alpha_{\text{см}}$ по сравнению с коэффициентом поглощения свободной воды объясняется отражениями микроволн от границ раздела сред, что не учитывает приведенное выражение. Для реализации этого метода применительно к условиям литейного производства были разработаны лабораторные приборы и приборы для контроля влагосодержания смеси непосредственно в технологическом потоке.

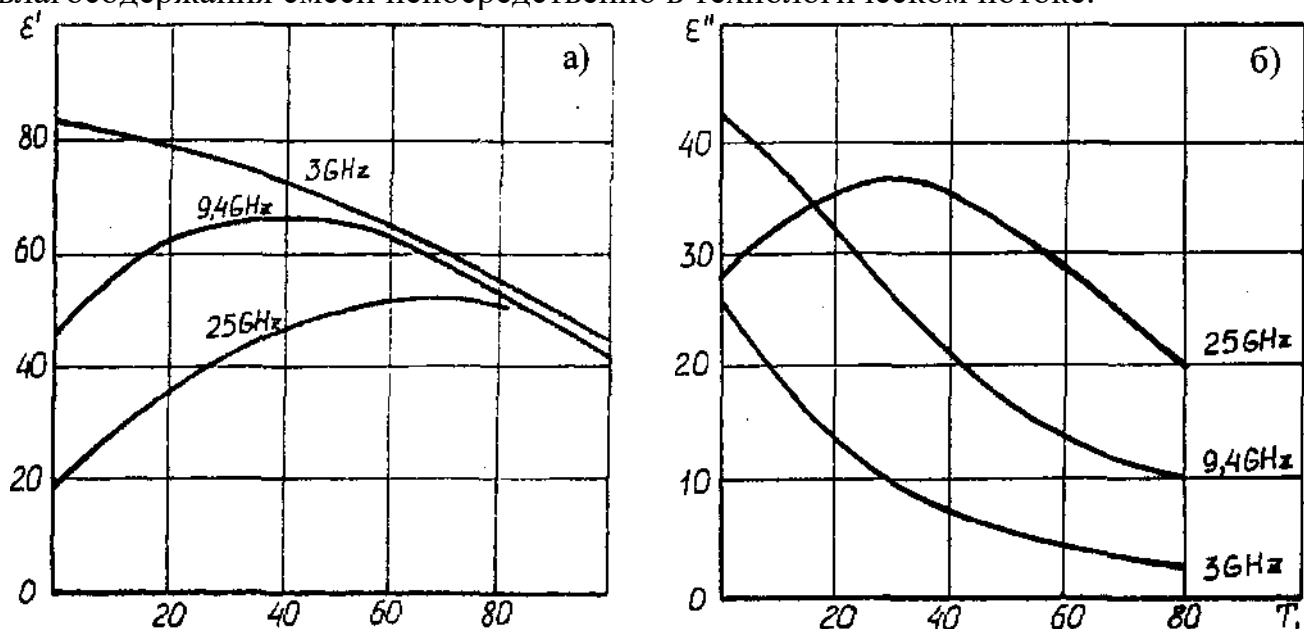


Рис. 4. Изменение диэлектрических характеристик воды в зависимости от температуры.

Приборы для экспресс-анализа качества смеси в технологическом потоке выполнены в двух модификациях: прибор для контроля влажности смеси в бункере (устанавливается, как правило, в бункер-дозатор оборотной смеси) и прибор для установки непосредственно на ленте транспортера.

Разработанные приборы легко встраиваются в действующие системы смесеприготовления и могут стать основой для вновь создаваемых систем автоматического контроля и управления качеством смеси.

На рис. 6 представлена схема одного из возможных вариантов компоновки такой системы.

В систему включены три прибора непрерывного контроля влагосодержания и температуры (4), помимо них установлены датчики наличия материала (3), устройство дозирования воды (7). Полная информация о технологическом процессе и текущих параметрах смеси поступает и обрабатывается в персональном компьютере (8). Обработанный сигнал подается на исполнительные механизмы дозирования воды (12) и управления потоком смеси (5). Система оснащена записывающей и оповещающей аппаратурой: индикация влажности и температуры на рабочих местах оператора, земледеля и формовщика ("i"), аварийное оповещение в случае отказов, сбоя в технологическом процессе, выхода из строя технологического оборудования. Благодаря установке датчиков контроля влажности на выходе из смесителя (6) непосредственно перед изготовлением

форм система обладает двойной обратной связью - легко самонастраивается, практически мгновенно реагируя на изменения в техпроцессе и состоянии окружающей среды (температуры и влажности в цехе), что исключает возможность попадания некачественной смеси, параметры которой выходят за пределы оптимального интервала, на позицию формовки (11). Опыт эксплуатации разработанных приборов в производственных условиях показал их надежность и высокую точность (абсолютная ошибка показаний приборов не превышает 0,15-0,2%).

Учитывая, что система осуществляет статистическое усреднение влажности всего объема смеси,двигающейся по ленте (2) реальная погрешность измерений влагосодержания практически сводится к цифре, близкой к нулю. Широкое использование подобных систем позволило снизить брак отливок по вине формовочной смеси до минимума.

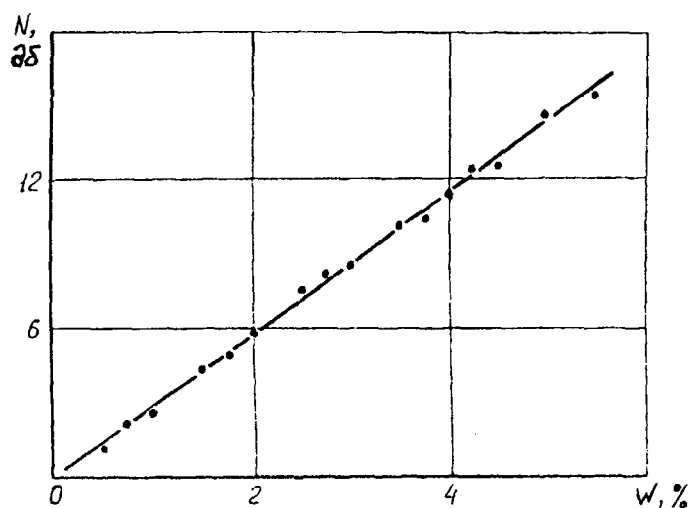


Рис. 5. Изменение ослабления радиоволн в смеси в зависимости от ее влажности

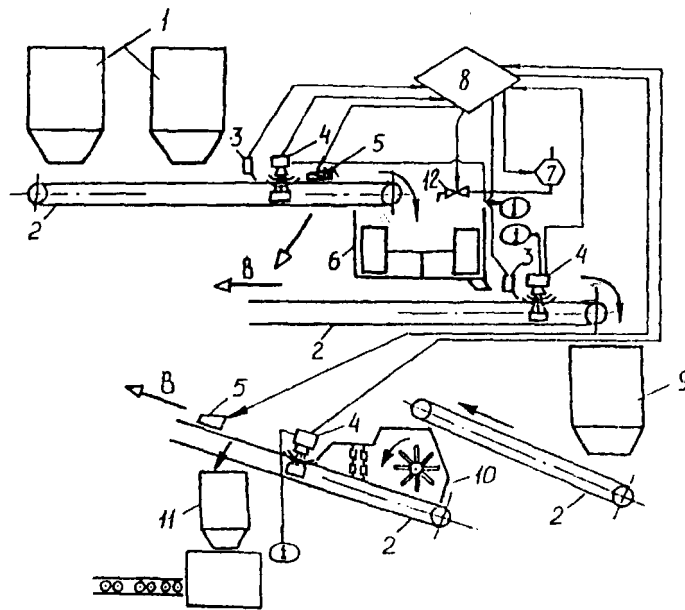


Рис. 6. Принципиальная схема построения системы автоматического контроля и управления качеством формовочной смеси в процессе смесеприготовления

ЛИТЕРАТУРА:

1. Жуковский С.С.. Прочность литейной формы. - М.: Машиностроение, 1989г.
2. Гуляев Б.Б. и др. Формовочные процессы. - М.: Машиностроение, 1987г.
3. Валисовский И.В., Медведев Я.И. Технологические испытания формовочных материалов - М: МАШ-ГИЗ, 1963г.
4. Кричевский Е.С., Бензарь В.К. и др. Теория и практика экспрессных методов контроля влагосодержания твердых и жидких материалов. 1980г.
5. Kraszewski A. - (Микроволновая влагометрия) Microwave agumetry . G. Microwave power vor.15N4. 198Qr. P.209-220.
6. Хиппель А.П. Диэлектрики и волны. Иностранная литература, 1960г.
7. Бекзарь В.К., Ценцинер Б.О., Ренгарт И.И. Два типа диэлектрического