



The article is dedicated to comparative analysis of the well-known methods of automatic quality control of agglutinant sands in process of their preparation and to the problems of automation control of the mix preparation processes.

Д. М. КУКУЙ, С. Л. РОВИН, БНТУ, М. А. САЙКОВ,
РУП «Гомельский литейный завод «Центролит»

УДК 621.74

МЕТОДЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ФОРМОВОЧНЫХ СМЕСЕЙ В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Известные методы контроля качества формовочной смеси условно можно разделить на две группы: методы непосредственного прямого контроля качественных, физико-механических характеристик смеси (прочности, текучести, осыпаемости, газопроницаемости и т.д.) и методы опосредованного контроля качества смеси по одному или нескольким косвенным параметрам (влажности, температуре и т.п.) или связанным с ними электрофизическим характеристикам [1–4]. Известна также концепция контроля качества формовочных смесей по реологическим параметрам — упруго-вязкопластическим свойствам [5]. Методы непосредственного и реологического контроля реализуются, как правило, в лабораторных условиях, при этом они позволяют сделать достаточно полный анализ технологических и физико-механических параметров смеси. Однако полученная этими методами оценка носит лишь констатирующий характер, что не дает возможности оперативно вмешиваться и корректировать технологический процесс. Таким образом, эти методы не исключают возможность попадания некачественной смеси на позицию формовки и соответственно получения бракованных отливок, а позволяют лишь проанализировать причины брака. Автоматизация прямых и реологических методов контроля качества смеси является весьма сложной и дорогостоящей задачей, требует установки специальных пробоотборников сложной преобразующей и анализирующей аппаратуры.

На рис. 1 показана схема автоматического управления процессом приготовления ПГС, основанная на реализации прямых методов контроля качества смеси, предлагаемая фирмой «Georg Fischer». В системе фирмы «Georg Fischer» автоматически осуществляется отбор пробы смеси из смесителя, затем формируется образец, передаваемый в мультиконтроллер, где автоматически определяются прочность и текучесть смеси. Полученные значения анализируются и преобразуются в управляющий сигнал, обеспечивающий добав-

ление воды и бентонита. Отбор пробы из смесителя и корректировка состава через определенные промежутки времени повторяются до тех пор, пока параметры смеси не войдут в заданные рамки. Главные недостатки этой системы — высокая инерционность (определение характеристик смеси в процессе перемешивания приводит к неопределенному увеличению времени перемешивания), узкая выборка (ограниченный объем контролируемой смеси) и, как следствие, недостаточная точность дозирования вводимых компонентов.

Аналогичные принципы контроля и отбора пробы заложены в системах контроля качества, построенных на анализе реологических характеристик смеси: отобранная проба смеси в пробоотборнике анализируется по деформациям на сжатие и срез [5].

Ко второй группе относятся методы косвенного контроля качества формовочной смеси по одному или нескольким определяющим параметрам. Основными критериями при выборе этих параметров являются высокая степень их корреляции с важнейшими качественными характеристиками формовочной смеси, простота автоматического контроля выбранных параметров непосредственно в технологическом потоке, возможность управления ими на стадии смесеприготовления. Анализ мирового опыта, накопленного в области создания систем автоматического контроля и управления качеством формовочной смеси, показывает, что чаще всего в качестве основного контролируемого и управляющего параметра выбирается влагосодержание формовочной смеси (по крайней мере при контроле ПГС) [1–3]. Такой выбор обусловлен, в первую очередь, тем, что влажность при заданном составе песчано-глинистой смеси является важнейшим фактором, определяющим ее основные физико-механические свойства — объемную и поверхностную прочность (осыпаемость), газопроницаемость, текучесть и т.д. (рис. 2). Кроме того, влагосодержание напря-

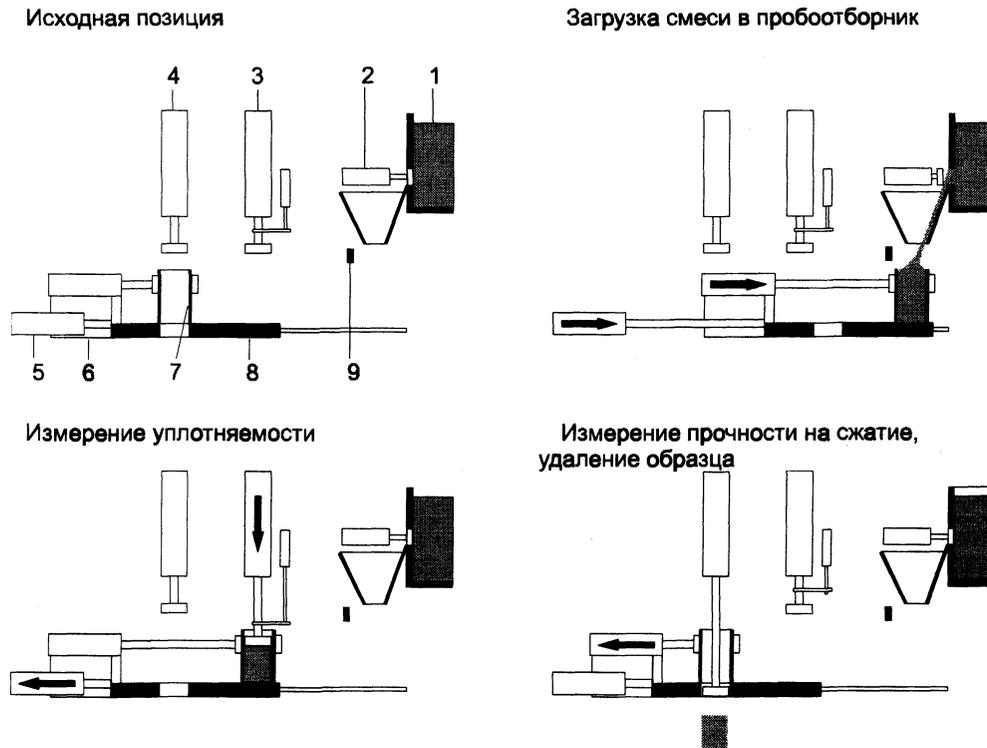


Рис. 1. Схема работы системы автоматического контроля и управления качеством песчано-глинистой смеси в процессе смешеприготовления (фирма «Georg Fischer»)

σ , МПа 0, % Г, ед. T, %

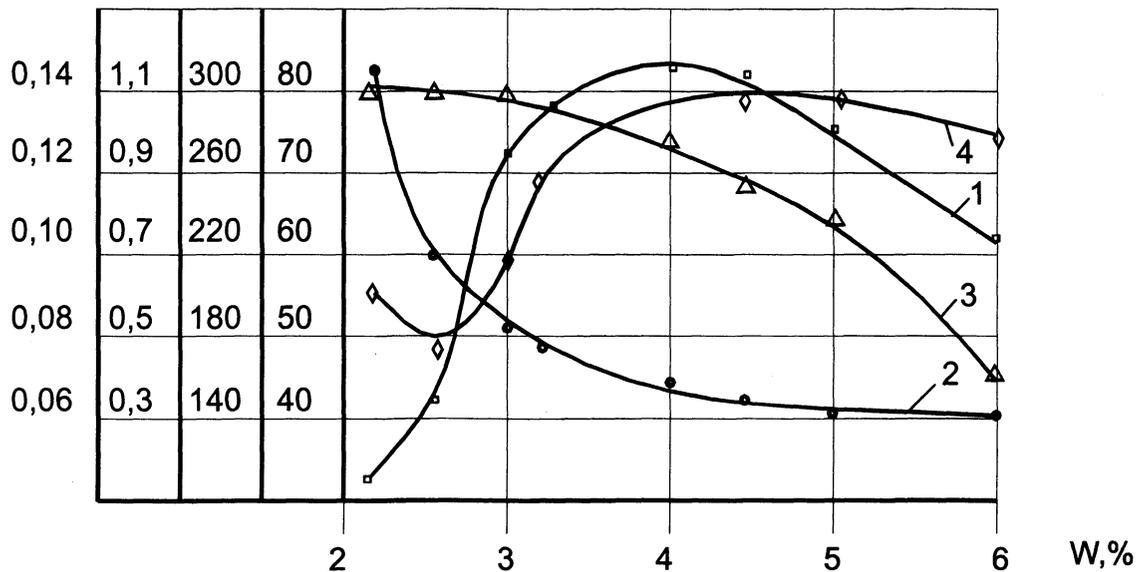


Рис. 2. Изменение физико-механических свойств смеси в зависимости от ее влажности (исследовалась единая формовочная смесь РУП «МТЗ»): 1 – прочность смеси на сжатие; 2 – осыпаемость; 3 – газопроницаемость; 4 – текучесть

мую коррелирует и с основными реологическими характеристиками песчано-глинистой смеси – вязкостью и пластичностью, определяя, таким образом, особенности поведения этих смесей в процессах формообразования [1, 3, 5]. В качестве второго (вспомогательного) контролируемого параметра используется температура, которая, во-первых, также тесно связана и довольно ощутимо влияет на прочность смеси, а, во-вторых, очень легко может быть определена в автоматическом режиме непосредственно в технологическом потоке.

Кроме названных причин, пристальное внимание к контролю и управлению влагосодержанием формовочных смесей вызвано рядом специфических, технологических и производственных факторов. Влажность оборотной формовочной смеси в реальных производственных условиях – величина непрерывно изменяющаяся, причем эти изменения носят в известной мере случайный характер, что обусловлено текущими изменениями металлоемкости формы и температуры заливаемого металла, потерями влаги при транспортировке и на

пересыпах, пересечениями технологических потоков, плановыми и случайными остановками технологического цикла, сезонными и суточными колебаниями температуры и влажности в цехе и т.д. В связи с этим влажность смеси в технологическом обороте колеблется от 3 до 6% на выходе из смесителя и от 0,5 до 4,0% на входе, в то же время в абсолютном большинстве случаев техническая инструкция требует поддержания влажности готовой формовочной смеси в существенно более узком диапазоне $\pm 0,3\%$. Чтобы уложиться в узкий заданный интервал, требуется непрерывный текущий контроль и гибкое регулирование влагосодержания смеси. С другой стороны, влагосодержание и в более общем случае содержание связующей композиции достаточно легко поддается управлению путем изменения количества воды (либо жидкой связующей композиции, например суспензии), подаваемой в смеситель в процессе смесеприготовления.

Существующие методы определения и контроля влажности формовочных и стержневых смесей можно разделить на методы непосредственного физического или химического определения влажности и косвенные методы [1–4]. Прямые методы основаны на непосредственном разделении влажного материала на сухое вещество и воду путем сушки либо химическим способом. В любом случае прямые методы предполагают отбор пробы влажного материала, достаточно длительное время измерения (от 3–6 до 20–40 мин) и, так же как методы прямого контроля качества формовочной смеси, практически не могут быть использованы для автоматизации контроля и управления процессов формообразования и смесеприготовления.

Наиболее перспективными с точки зрения автоматизации контроля влажности непосредственно в технологическом потоке являются, несомненно, косвенные методы, основанные на измерении электрических или электрофизических свойств смеси, которые функционально связаны с ее влагосодержанием [1–4]. Эти методы не требуют специального изготовления образца или отбора пробы, измерение происходит мгновенно и непосредственно в потоке или объеме материала, контролируемая величина легко преобразуется в цифровой и управляющий сигнал, все это обеспечивает возможность непрерывного оперативного контроля и управления технологическим процессом.

До последнего времени в литейном производстве с различным успехом использовались гальванические, кондуктометрические и емкостные приборы контроля влажности [1–3].

Работа гальванических влагомеров основана на измерении электродвижущей силы, возникающей между двумя электродами (медным и железным), заглубленными в формовочную смесь и изменяющейся при колебаниях влажности. С по-

мощью гальванических влагомеров может быть измерена влажность готовой формы либо смеси, находящейся в бункере. Однако на получаемые результаты большое влияние оказывают малейшие изменения кислотности смеси, примеси солей и оксидов. Это, а также невысокая точность приборов не позволили методу контроля влагосодержания по изменению ЭДС получить широкого распространения в литейном производстве [1–3]. Кондуктометрический метод основан на измерении электросопротивления смеси, которое падает при увеличении влагосодержания смеси (рис. 3). Однако линейный характер зависимости «электросопротивление – влажность», как видно из рисунка, имеет место лишь в достаточно узком диапазоне влажностей (3–6%). Кроме того, так же как на работу гальванических влагомеров, на точность кондуктометрических датчиков существенное влияние оказывают случайные примеси, изменения кислотности песка, введение в смесь пигмента, специальных добавок и т.п. Так, например, единая формовочная смесь, приготовленная на песках Гомельского ГОК (пос. Круговец), при влажности 3% имеет сопротивление около 24 000 Ом, та же смесь при такой же влажности, но приготовленная на основе жлобинского песка имеет сопротивление немногим выше 14 000 Ом. Причиной такого существенного различия являются незначительные примеси в формовочных песках.

Работа емкостных влагомеров заключается в измерении величины емкости конденсатора, между обкладками которого находится исследуемый материал, и использует собственные диэлектрические характеристики воды в области высоких частот (10^3 – 10^7 Гц), где ее диэлектрическая проницаемость (ϵ') равна 80 у.е. (рис. 4), тогда как у большинства сухих материалов она изменяется в пределах 2–5 ед. Приводимые в литературе

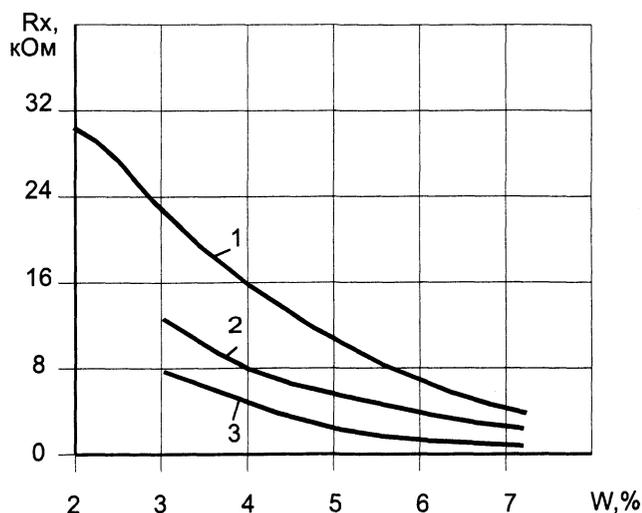


Рис. 3. Зависимость электросопротивления различных формовочных смесей от влажности: 1 – ПГС (8% бентонита); 2 – ПСС (3% бентонита, 5% жидкого стекла, 0,5% сульфитного щелока); 3 – ПСС (5% жидкого стекла, 3% бентонита)

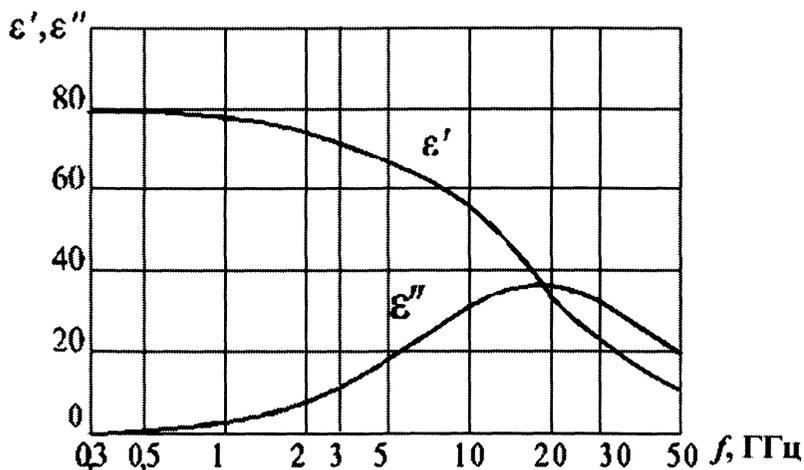


Рис. 4. Изменение диэлектрических характеристик воды в зависимости от частоты электромагнитной волны: ϵ' — диэлектрическая проницаемость воды; ϵ'' — диэлектрические потери воды

данные показывают, что зерновой состав песка и специальные добавки в смесь не оказывают существенного влияния на показания диэлектрического влагомера [4–6]. На использовании емкостного метода построены системы контроля и управления качеством формовочной смеси, предлагаемые рядом западных фирм: Lipke, Foundry Control, Disa. Однако этот метод тоже имеет ряд недостатков, главный из которых — значительное снижение точности измерений при низких влажностях смеси ($\leq(2,0-2,5)\%$), что объясняется суммированием собственных диэлектрических характеристик элементов, входящих в многокомпонентные системы [6]:

$$\sqrt{\epsilon'_{см}} = W\sqrt{\epsilon'_в} + (1-W)\sqrt{\epsilon'_н} + 1, \quad (1)$$

где $\epsilon'_{см}$ — диэлектрическая проницаемость смеси; $\epsilon'_в$ — диэлектрическая проницаемость воды; $\epsilon'_н$ — условно суммарная диэлектрическая проницаемость основных компонентов смеси — песка и глины; W — массовая доля воды в смеси.

Из выражения (1) видно, что при низких влажностях диэлектрическая проницаемость смеси практически полностью определяется свойствами наполнителя. В связи с этим при контроле низких влажностей емкостным методом как неперемное условие достижения необходимой точности измерения возникает требование стабильности диэлектрических характеристик используемого наполнителя. Так, для получения точности измерения влажности формовочной смеси в пределах $\pm 0,2\%$ при влагосодержании в пределах 1–3% необходимо исключить относительные колебания диэлектрических характеристик наполнителя, превышающие 2–3%, что трудно достижимо в реальных условиях. Кроме того, показания емкостного влагомера достаточно сильно зависят от плотности и температуры смеси [3, 4, 6].

Известны попытки использования для контроля влажности формовочных смесей электрофизических или «ядерных» методов, в частности, метода ядерного магнитного резонанса (суть которого заключается в измерении уровня поглощения энергии радиочастотного магнитного поля ядрами атомов водорода) и нейтронного метода (измерение уровня замедления рассеивания быстрых нейтронов атомами водорода исследуемого материала) [3]. Эти методы позволяют контролировать влажность практически любых материалов с высокой точностью, при этом могут контролироваться сразу большие объемы материала (например, измеряется влажность смеси, находящейся в бункере-накопителе). Однако, несмотря на указанные преимущества, электрофизические методы не нашли широкого применения в литейном производстве в первую очередь из-за высокой стоимости и сложности измерительной аппаратуры и небезопасности метода (необходима надежная радиационная защита) [1, 3].

В последнее время в различных отраслях промышленности все большую популярность завоевывают СВЧ методы контроля влажности. СВЧ методы отличаются высокой точностью, относительной простотой и дешевой инструментальной реализации, возможностью бесконтактных измерений и высокой информативностью оценки, что позволяет легко использовать их в системах автоматического контроля. Сегодня СВЧ влагомеры активно используются в угледобывающей и нефтеперерабатывающей индустрии, на предприятиях легкой и пищевой промышленности, на зерноперерабатывающих и мукомольных заводах, при производстве стройматериалов и минеральных удобрений [6]. В основе микроволновых методов влагометрии лежат уникальные диэлектрические свойства воды в СВЧ диапазоне от 0,3 до 30 ГГц, а именно наличие максимума диэлектрических потерь (рис. 4), которого не наблюдается более ни у одного из известных материалов. Диэлектрические потери (ϵ'') в воде на частоте 17 ГГц достигают 36 ед., в то же время диэлектрические потери в обезвоженных веществах и жидких неполярных диэлектриках практически равны нулю [4, 6]. Так, например, слой воды толщиной 1 см вызывает ослабление микроволнового сигнала в 10 000 раз, в то же время многометровые пласты песка, глины, известняка и т.п. практически радиопрозрачны.

В большинстве случаев в промышленности используются СВЧ влагомеры, работающие по методу поглощения. Измерительным параметром в этих влагомерах является ослабление или затухание (N , дБ) СВЧ энергии в исследуемом материале. В общем случае уровень ослабления определяется следующим равенством:

В большинстве случаев в промышленности используются СВЧ влагомеры, работающие по методу поглощения. Измерительным параметром в этих влагомерах является ослабление или затухание (N , дБ) СВЧ энергии в исследуемом материале. В общем случае уровень ослабления определяется следующим равенством:

$$N = 8,686 a_b W \rho k l, \quad (2)$$

где a_b — коэффициент затухания (поглощаемая энергия) воды в СВЧ поле; W — относительная влажность; ρ — плотность исследуемого материала; l — толщина влажного материала; k — структурный коэффициент (определяет поправку, связанную с дисперсностью исследуемого материала).

Из выражения (2) видно, что для получения адекватных результатов измерения влажности в СВЧ влагомерах должна обеспечиваться либо стабильная плотность исследуемого материала, либо автоматическое измерение текущей плотности и соответствующая корректировка показаний. Исходя из литературных данных, коэффициент поглощения (α_b) зависит также и от температуры влагосодержащего материала [4, 6].

Таким образом, проблема выбора надежного способа непрерывного опережающего контроля качественных параметров смеси и автоматизации управления технологическими процессами формообразования и смесеприготовления сегодня по-прежнему остается актуальной.

Литература

1. Жуковский С.С. Прочность литейной формы. М.: Машиностроение, 1989.
2. Гуляев Б.Б. и др. Формовочные процессы. М.: Машиностроение, 1987.
3. Валисовский И.В., Медведев Я.И. Технологические испытания формовочных материалов. М: Машгиз, 1963.
4. Кричевский Е.С., Бензарь В.К. и др. Теория и практика экспрессных методов контроля влагосодержания твердых и жидких материалов. М.: Машиностроение, 1980.
5. Матвеев И.В., Ровин С.Л. Реологическая концепция и принципы координированного управления процессами смесеприготовления и формообразования // Литье и металлургия. 1999. № 2. С. 13–17.
6. Хиппель А.П. Диэлектрики и волны. М.: ИЛ., 1960.



NPP[®]
COMPANY



Промышленная компания НПП представляет:

WWW.NPP.RU

**специализированный
сайт ЛИТЕЙЩИКОВ**

в России

На сайте вы можете:

- найти множество полезной информации о способах модифицирования чугуна и стали;
- получить рекомендации применительно к вашему технологическому процессу;
- обсудить на ФОРУМЕ с коллегами актуальные вопросы;
- разместить рекламу о своем предприятии, услугах и ценах, а также создать персональную страничку;
- просмотреть аналитические материалы и цены на мировых рынках;
- получить множество справочной информации и многое другое.

