

The process of blending of components in mixture has compound complex of physical and chemical phenomenon, control of which is possible by the way of deep study of the mechanism of the characteristics forming in mixture.

А. П. МЕЛЬНИКОВ, НП РУП «Институт БелНИИлит»,
М. А. САЙКОВ, РУП «Гомельский литейный завод «Центролит»,
Д. М. ГОЛУБ, НП РУП «Институт БелНИИлит»

УДК 621.74

МЕХАНИЗМ ФОРМИРОВАНИЯ СВОЙСТВ СМЕСИ В ПЕРИОД ПЕРЕМЕШИВАНИЯ ЕЕ КОМПОНЕНТОВ

Технологические свойства формовочных (стержневых) смесей зависят от равномерности распределения воды, глины, связующих материалов, специальных добавок по объему смеси, а также от того, насколько равномерно покрыты зерна песка оболочкой связующего. Чем равномернее распределены составляющие в смеси по ее объему, чем более однородна оболочка, связывающая зерна песка, тем более высокими и однородными технологическими свойствами будет обладать смесь. Равномерность распределения составляющих смеси и создание оболочек связующего вокруг зерен песка достигаются в процессе смешивания – одной из основных операций технологического процесса приготовления.

Возрастающие требования к качеству песчано-глинистых формовочных смесей и эффективности применяемого оборудования требуют не только углубленного изучения физических закономерностей воздействия элементов устройства смешивания на формовочную смесь, знания свойств самого материала, но и механизма формирования прочности в период перемешивания компонентов.

Высокопроизводительные смесеприготовительные системы способны выдавать за считанные минуты несколько тонн формовочной смеси с относительно равномерно распределенной водой и связующим с обволакиванием приблизительно 40 млрд. ее зерен. Участки смесеприготовления являются одними из энергоемких переделов литейного производства, так как они насыщены сложнейшим комплексом технологического оборудования. Поэтому повышение КПД связующего, качества смесей и связанное с этим уменьшение оборотов смеси в цикле и снижение затрат энергии на процесс смесеприготовления имеют для предприятий большую экономическую выгоду.

Литейные предприятия используют различные типы смесителей, в которых технология стремится к идеальному варианту смешивания – зерна кварца равномерно покрыты пленкой связующего, связующее максимально проявляет свои свойства (рис. 1 справа). Однако механизм формирования прочности имеет различную природу, основанную на отличии конструкций агрегатов смешивания.

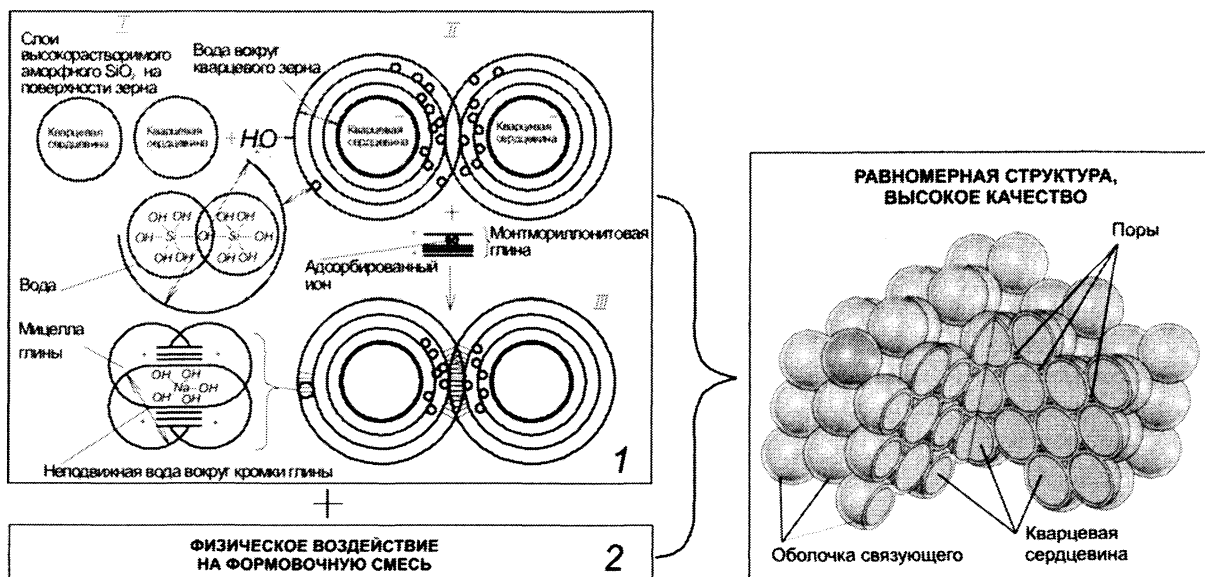


Рис. 1. Структура образования свойств смеси: I – схема строения поверхностного слоя кварцевого зерна при взаимодействии его с водой и монтмориллонитовой глиной; I – сухой песок; II – влажный песок; III – песок, смоченный водой после добавки монтмориллонитовой глины; 2 – воздействие на смесь всей системы смесеприготовления

Немаловажную роль на процесс перемешивания оказывают химические процессы, происходящие в смеси во время ее перемешивания (рис. 1 слева).

Физические процессы

При смешивании механизм смесителя создает в объеме смеси организованный поток составляющих. Внутри этого потока отдельные частицы, соударяясь, движутся беспорядочно. Процесс их движения, траектории подчиняются законам теории вероятности.

В первый момент твердая и жидкая фазы изолированы друг от друга. В ходе смешивания происходит механическое распределение жидкой фазы между элементами твердой. В дальнейшем за счет адгезии и капиллярных сил происходит смачивание жидким компонентом отдельных зерен песка и образование вокруг них оболочки.

Практически достигнуть идеальной однородности невозможно [1]. Степень неоднородности смеси может быть определена с помощью проб. Если общая концентрация компонента в смеси C_0 , концентрация компонента в пробе C_i , а число проб n , то степень неоднородности C_{II} смеси может быть рассчитана как коэффициент вариации в n взятых пробах:

$$C_{II} = \frac{1}{C_0} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (C_i - C_0)^2}{n}} \cdot 100\%. \quad (1)$$

Чем меньше C_{II} смеси, тем равномернее распределены составляющие в смеси. Степень неоднородности смеси C_{II} в процессе смешивания уменьшается до некоторой величины, не изменяющейся в дальнейшем (рис. 2). Интенсивность смешивания зависит от конструкции рабочих органов смесителя и скорости их движения, физико-механических свойств компонентов, их состояния, относительных размеров их частиц. Наиболее долго выравнивается концентрация при смешивании сухих компонентов, например песка и глины. Это объясняется тем, что благодаря различной дисперсности составляющих одновременно с процессом смешивания идет процесс расслоения. При смешивании влажного песка и глины расслоения не происходит, так как глина покрывает зерна песка, частично обволакивает их. Концентрация глины в этом случае выравнивается значительно быстрее.

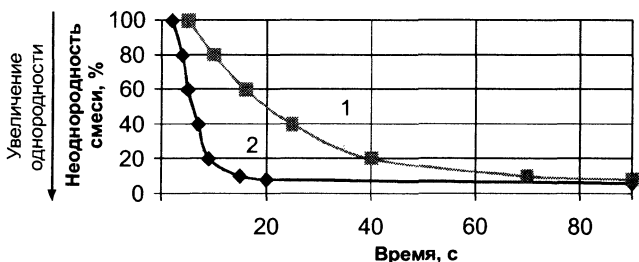


Рис. 2. Изменение степени неоднородности формовочной смеси в процессе смешивания компонентов: 1 — сухих (песок и глина); 2 — влажных (песок, глина, вода)

Несмотря на то что предельно достижимая неоднородность смеси песка и глины получается после непродолжительного смешивания, формовочная смесь за это время не приобретает заданных технологических свойств (прочность и газопроницаемость). В этот период смешивания основная часть глины располагается в виде агрегатов между песчинками и только небольшая часть ее обволакивает поверхность песчинок, образуя контакты между ними, придающие смеси незначительную прочность.

Дальнейшее обволакивание зерен песка глиной происходит при многократном создании в смешиваемом объеме уплотненной и разрыхленной структуры, вследствие чего вся поверхность зерен покрывается оболочкой глины.

Увеличение прочности смеси в зависимости от времени перемешивания связано с особенностью формирования глинисто-водных оболочек на зернах песка. В начальный период перемешивания, когда влага в смеси находится в достаточном количестве, глинисто-водная оболочка на зернах песка имеет однородную структуру, при этом глинистые частички расположены параллельно друг другу и поверхности песчинки. Такая структура оболочки способствует высокой прочности смеси в сухом состоянии. При более длительном перемешивании влага, содержащаяся в смеси, начинает интенсивно испаряться. В связи с этим отдельные глинистые частички уже не могут располагаться параллельно друг другу, так как вода, находящаяся между ними, перестала играть роль смазки и способствовать их благоприятному расположению. Перемешивание смеси в этих условиях приводит к тому, что глинистые частички в оболочке начинают располагаться хаотически. Такая структура придает глинисто-водным оболочкам после сушки хрупкость, а смесь становится малопрочной.

Степень перемешивания компонентов зависит от частоты смены положения их частиц в общем объеме смеси [2]. На этот фактор главное влияние оказывают работа и устройства перемешивающего агрегата. Необходимым условием достижения однородности является длина пути, проходимого элементарной частицей смеси. Увеличение интенсивности процесса перемешивания при увеличении частоты вращения смесительного аппарата приводит к сокращению общего времени смешивания, но не меняет общую длину пути.

Силы адгезии и когезии связующего, находящиеся в функциональной зависимости от сил его поверхностного натяжения, оказывают решающее влияние на качество структуры смеси. Все литейные связующие, несмотря на различную природу, обладают адгезией к наполнителям. Наличие этих сил позволяет сформировать оболочку из связующего материала вокруг зерна наполнителя, в противном случае можно получить только механическую смесь нескольких компонентов с неупорядоченной структурой.

Сравним физические процессы, проходящие в самом распространенном смесителе — бегунах и быстроразвивающихся вихревых смесителях. Известно, что традиционным агрегатом для приготовления формовочной смеси служат бегуны. Механизм перемешивания в такого рода смесителе заключается в перетирании и «намазывании» связующего на зерна наполнителя. Энергия, необходимая для распределения связующего в объеме смеси и по поверхности зерен, в этом случае является результатом работы, в первую очередь, статических сил. Отсюда высокая относительная энергоемкость и, как следствие, невысокая эффективность процесса — ограничение по прочности приготавливаемых смесей 0,06–0,12 МПа.

Если обобщить, то функцией качества смеси в катковом смесителе являются следующие параметры:

$$K_{\text{см}}^{\text{катк}} = f(M_{\text{к}}, D_{\text{к}}, D_{\text{ч}}, V_{\text{тр}}, h_{\text{з}}, R_{\text{см}}),$$

где $M_{\text{к}}$ и $D_{\text{к}}$ — соответственно масса и диаметр катка; $D_{\text{ч}}$ — диаметр чаши; $V_{\text{тр}}$ — скорость вращения траверсы; $h_{\text{з}}$ — высота зазора между катком и дном чаши; $R_{\text{см}}$ — реология смеси.

Вихревое смешивание отличается высокими линейными и вращательными скоростями движения частиц наполнителя. Распределение связующего в объеме смеси и по поверхности зерен наполнителя происходит под воздействием высоких динамических энергий. Интенсивное разнонаправленное поступательно-вращательное движение всей смеси, ее микрообъемов и каждой отдельной частицы обеспечивает получение высококачественной смеси, отличающейся высокой степенью однородности и безупречным покрытием каждого зерна. Высокие скорости движения зерен и непрерывное соударение частиц приводят к так называемой механической активации связующего комплекса, обеспечивая тем самым повышение прочностных характеристик смеси. Непрерывная аэрация смеси во время перемешивания улучшает ее формуемость и уплотняемость, позволяет готовить высокопрочные смеси до 2 МПа практически при сохранении производительности смесителя, т.е. функцией качества смеси в вихревом смесителе являются следующие параметры:

$$K_{\text{см}}^{\text{вихр}} = f(V_{\text{в.г.н./т}}, V_{\text{в.г.}}, \alpha_{\text{лоп}}, D_{\text{ч}}, V_{\text{тр}}, R_{\text{см}}),$$

где $V_{\text{в.г.н./т}}$ — скорость вращения вихревой головки вокруг оси чаши; $V_{\text{в.г.}}$ — скорость вращения вихревой головки; $D_{\text{ч}}$ — диаметр чаши; $V_{\text{тр}}$ — скорость вращения траверсы; $\alpha_{\text{лоп}}$ — угол наклона лопаток; $R_{\text{см}}$ — реология смеси.

Химические процессы при смешивании

Процесс обволакивания песчинок глиной при смешивании представляет собой также сложный комплекс физико-химических явлений. Поверх-

ность зерен кварца состоит из слоя растворимого кремнезема $(\text{SiO}_2)_{\text{в.р.}}$, находящегося на различных стадиях аморфности; толщина этого слоя составляет около 0,03 мкм. При смешивании песка с водой часть кремнезема $(\text{SiO}_2)_{\text{в.р.}}$ растворяется, образуя гель. Элементарные объемы воды, окружающие слабо поляризующиеся ионы Si^{4+} в поверхностном слое зерна кварца, теряют свою подвижность в результате структурных изменений: ионы Si^{4+} связывают шесть ионов OH^- (см. рис. 1). Такая вода называется жесткой или неподвижной.

Если Si^{4+} , находящийся в оболочке вокруг одной песчинки, притягивает ион OH^- , находящийся в соседней оболочке, то энергия системы возрастает, увеличивается содержание воды с повышенной жесткостью в месте контакта оболочек песчинок — смесь песка с водой приобретает определенную прочность. Благодаря частичной нескомпенсированности зарядов ионов OH^- при взаимодействии с ионами Si^{4+} в поверхностном слое зерен песка они несут отрицательный электрический заряд.

На поверхности отрицательно заряженных частиц, окружающих зерна наполнителя смеси (кварцевого песка), располагаются (адсорбированы) положительные ионы (катионы) натрия, кальция, магния и др [3]. При увлажнении смеси вокруг этих катионов образуются оболочки из диполей воды, ориентированных своим положительным зарядом в сторону отрицательно заряженных частиц бентонита. В результате формируется так называемая «мостиковая связь», определяющая величину прочности. Реально наиболее эффективную «мостиковую связь» обеспечивают одновалентные ионы натрия с малым радиусом и большими гидратными оболочками из жестко связанных с ними диполей воды.

Поверхность частиц глины образована ионами O^{2-} (бентонит) или ионами O^{2-} и OH^- (каолинита), валентные связи которых насыщены (см. рис. 1). Поэтому глинистые минералы приобретают полярную поверхность вследствие замещений в решетке кристалла или наличия разорванных валентных связей на изломах граней. Установлено, что кромки изломов кристаллов частиц бентонитов несут положительный заряд, поэтому в смеси песка и воды частицы бентонита располагаются вокруг оболочки жесткой воды, находящейся на поверхности зерен кварца, поворачиваясь кромками к поверхности зерен кварца, покрытых жесткой водой, несущей отрицательный заряд. Благодаря этому жесткость водной оболочки вокруг зерна кварца повышается. Увеличение жесткости оболочек будет тем больше, чем меньше размер частицы бентонита или глины, что объясняется увеличением их поверхности и соответственно наличием большого заряда, что способствует более равномерному распределению, ориентации этих частиц на поверхности жесткой

воды. Вся система частиц воды и глины или бентонита образует гель.

В результате первой стадии процесса на поверхности частиц песка образуется гель, имеющий мицеллярную структуру, состоящую из дисперсионной среды (воды) и полярных тел — частиц бентонита или глины. Отдельные мицеллы могут образовывать скопления с пустотами внутри. Общая структура оболочек состоит из большого количества подобных мицеллярных скоплений. Для образования такой структуры также требуется определенное время. Мицеллярная структура способна насыщаться дисперсионной водой. После окончания насыщения вокруг зерна образуется эластичная прочная пленка, соединяющая зерна [4].

Связывание песка при использовании органических связующих происходит также в две стадии. В первой стадии образуется мицеллярная структура оболочки, а во второй — затвердевание геля с потерей избытка дисперсионной жидкой среды. Эта потеря может сопровождаться разрывом некоторых связей мицеллярной решетки и образованием новых связей пространственного типа при окончательном затвердевании геля. Однако потеря

избытка дисперсионной жидкости происходит обычно в процессе сушки.

Таким образом, процесс смешивания компонентов смеси имеет сложный комплекс физико-химических явлений. Возрастающие требования к качеству смеси, применение более прочных формовочных смесей с бентонитовыми глинами, развитие технологии изготовления высококачественных форм на современном формовочном оборудовании требуют изучения их реологических свойств и механизма формирования прочности смеси в комплексе с применяемым оборудованием.

Литература

1. Степанов Ю.А., Семенов В.И. Формовочные материалы. М.: Машиностроение, 1969.
2. Бречко А.А., Великанов Г.Ф. Формовочные и стержневые смеси с заданными свойствами. М.: Машиностроение, 1982.
3. Кваша Ф.С., Туманова Л.П. Возможности стабилизации прочности в зоне конденсации песчано-глинистых формовочных смесей // Литейное производство. 2004. №9.
4. Ершов М.Ю. Микроскопические исследования сырых песчаных формовочных смесей // Литейное производство. 2000. №7 С. 32–35.