



МЕЖДУНАРОДНАЯ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ  
КОНФЕРЕНЦИЯ  
«ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО  
И МЕТАЛЛУРГИЯ 2017.  
БЕЛАРУСЬ»



УДК 621.74

Поступила 12.09.2017

## ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЦЕССА ПРИГОТОВЛЕНИЯ МАССЫ В РОТОРНЫХ СМЕСИТЕЛЯХ

### CHARACTERISTIC OF PROCESS OF PREPARATION OF COMPOUND IN ROTOR MIXERS

ЧЕСЛАВ РУДЫ, P.P.P. IdeaPro, Польша. E-mail: cz.rudy@ideapro.com.pl

CZESLAW RUDY, P.P.P. IdeaPro, Poland. E-mail: cz.rudy@ideapro.com.pl

*В настоящей работе представлены результаты исследований, проводимых в области освежения массы с применением роторных смесителей. Цель этих исследований – определение хода процесса и диапазона значений конструктивно-эксплуатационных параметров, оптимальных из-за получаемых свойств освежающей массы и энергетических затрат процесса.*

*Роторные (турбинные) смесители широко используются в литейном производстве для освежения циркулирующей, синтетической массы с бентонитом, которые являются основным видом оборудования современных станций обработки формовочной смеси. Их существенным преимуществом является короткое время цикла освежающего смешивания.*

*На основе исследований процесса приготовления массы установлено, что выделенные элементарные операции смешивания с использованием катков смешивающих бегунов (разминание, растирание, перекидка и разрыхление) также имеют место в роторных смесителях. Однако они проходят с различной степенью и разной интенсивностью, чем в случае смешивающих бегунов.*

*Основы процесса освежения синтетической массы с бентонитом требовали установления и описания хода таких операций, как дезагрегация, распределение связующего и воды в объеме освежающей порции, обволакивание зерен и активация связующего, и рыхление.*

*The volume and results of the researches conducted in the field of rebonding of moulding compound with use of rotor mixers is presented in the present publication. The purpose of these researches was definition of the course of process and determination of range of values of design operational parameters, optimum because of the received properties of the refreshing compound and a cost of process.*

*Rotor (turbine) mixers are widely used in foundry production for rebonding of the circulating, synthetic compound with bentonite. They are a main type of an inventory of the modern stations of processing of forming mix. Their essential advantage is short cycle of the refreshing interfusing.*

*On the basis of researches of process of preparation of compound it is established, that allocated, partial operations of interfusing with use of skating rinks of the mixing rollers (mashing, grinding, overhaul and opening) also take place in rotor mixers. However these processes pass with various speed and with different intensity, than in case of the mixing rollers.*

**Ключевые слова.** *Формовочные массы, формовочные смеси, освежение формовочной смеси, роторные смесители, турбинные смесители, бентонит.*

**Keywords.** *Molding compounds, forming mixture, brightening of forming mixture, rotor mixers, turbine mixers, bentonite.*

#### Введение

Универсальность применения синтетической массы с бентонитом вызвана высокой степенью повторного использования бывших в употреблении масс, составляющей 95÷98%. Масса оборотной смеси после разделения отливок увлажняется и освежается порциями свежего песка, бентонита и материала, носителя блестящего угля.

Освежение оборотной смеси заключается в измельчении комков и сrostков, возникших в результате многократного использования циркулирующей массы; распределении освежающих компонентов по всему объему освежающей порции массы; обволакивании зерен массы связующим веществом, добавленным во время освежения; активации покрытия.

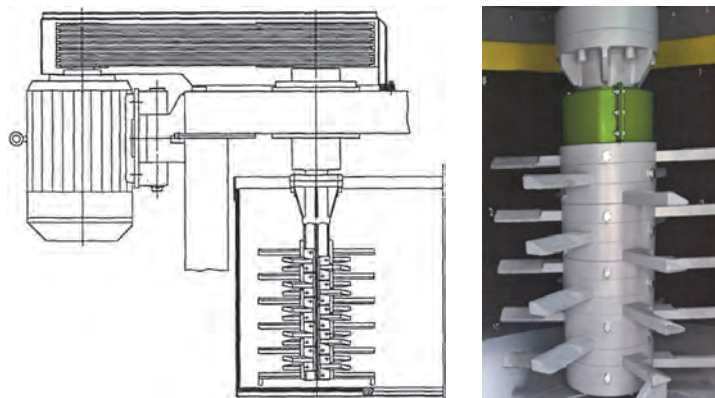
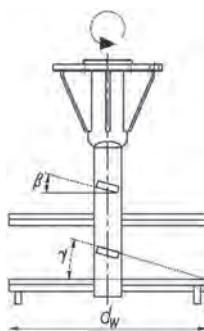


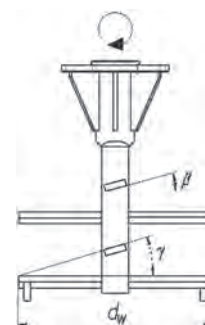
Рис. 1. Схема и вид ротора роторного смесителя



Ротор левого вращения (L)



Ротор левого вращения (L)



Ротор правого вращения (P)

Рис. 2. Опытные роторы лабораторного смесителя MTL-5, углы наклона лопастей ротора:  $\beta = 0^\circ$ ,  $\beta = 10^\circ$ ,  $\beta = 20^\circ$ ,  $\beta = 30^\circ$ ,  $\beta = 40^\circ$

Бывшая в употреблении масса по отношению к исходной (приготовленной полностью из свежих материалов) имеет измененный состав зерна. Степень гранулометрических изменений зависит от массового состава, технологии изготовления форм, термической нагрузки форм, принятого способа приготовления массы и т. п. Состав зерна формовочной массы, передаваемой на освежение, характеризуется повышенной долей крупнозернистых фракций. Исследования изменений состава зерна показали, что преобладают комки массы, которые дробятся ротором смесителя (рис. 1, 2).

Процесс смешивания должен приводить к деформации и измельчению агломератов смеси глины с водой и ее равномерному распределению на поверхности зерен. Во время смешивания увлажненной массы частицы глины прилипают к поверхности зерен обычно в виде комков (агломератов). Процессы обволакивания зерен реализуются путем элементарных операций сжатия, разрыва и сдвига зерен, соединенных агломератами вяжущего вещества. Во время сжатия зерна основы вдавливаются в агломераты смеси глины с водой, а после разрыва ее часть остается на каждом зерне. В массах, в которых вяжущим веществом является смесь глины с водой, разрушение связи возникает, как правило, на пути преодоления сил когезии (сцепления между слоями вяжущего вещества).

Объяснение хода элементарных операций процесса смешивания, описанных ниже, было выполнено на основании опубликованных результатов исследований, проведенных как в Польше [1–5], как и за рубежом [6–11].

### Характеристика хода процесса смешивания

Обволакивание зерен слоем увлажненной глины требует многочисленных деформаций в результате воздействия сжимающих, растягивающих и сдвиговых напряжений [2, 10]. Эти элементарные воздействия реализуются в смесителях разной конструкции с различной интенсивностью. Количество элементарных воздействий зависит от продолжительности процесса смешивания, а также хода процесса, характерного для каждого смесителя. Простые тесты, заключающиеся в крестообразном сжатии (поперечно в перпендикулярных направлениях) порций массы, содержащейся в сферическом резиновом контейнере, показали, что при каждом последующем цикле увеличивается прочность массы  $R_c^w$ , вытека-



Динамические смесители с наклонной осью вращения чаши



Динамические смесители с горизонтальной осью вращения чаши

Рис. 3. Роторные смесители (динамические) производства «IdeaPro» Нова-Суль (Польша) [Nowa Sól (Polska)]

ющая из степени обволакивания поверхности зерен водно-глинистой смесью [6]. Уже после 300 воздействий получена достаточно высокая прочность массы.

В характеристике смешивающих бегунов и маятниковых смешивающих бегунов указывается количество элементарных операций в пределах 100–300; лопаточных смесителей – 760 операций. В случае роторных смесителей при скорости вращения ротора 450–600 об/мин, а также цикла смешивания 90–120 с количество элементарных операций находится в пределах 900–1200 [7].

Ход процесса смешивания облегчают сопутствующие многократному сдвигу, имеющие место изменения динамической вязкости водно-глинистой системы. Диапазон изменений вязкости зависит от скорости сдвига и времени. Чем больше скорость сдвига и более длительное время сдвига, тем меньше (мгновенная) вязкость бентонитовой пасты [3].

Во время освежающего смешивания, реализованного с использованием роторного смесителя, имеет место активация, заключающаяся в открытии новых слоев вяжущего вещества. Этот слой, например, размером 3,5 мкм (при средней величине зерна основы  $R_z = 0,11$  мм и содержания связующей глины в массе  $G = 8\%$ ), соответствует около 60 монтмориллонитовым частицам, или 720 его элементарным пакетам [5, 8]. Возможности активации вяжущего вещества очень большие, поскольку каждое элементарное разделение зерен друг от друга относится ко всем элементарным пакетам монтмориллонита. Связующее (вяжущее вещество) перестраивает тиксотропную структуру, изменяются его реологические свойства. Этот процесс является частью сложного процесса активации.

Связывая мощность привода  $N$  (кВт) с массовой производительностью  $W$  (т/ч), обозначен коэффициент пропорциональности  $L_{\text{вп}}$  (кДж/кг), означающий необходимую работу, требуемую при приготовлении, освежении единичного количества массы. Анализ данных каталогов показывает, что значение этого показателя принимается в диапазоне 7–12 кДж/кг (смесители МТІ и МТР [11]). Смесители МТІ и МТР показаны на рис. 3.

Измельчение агломератов увлажненной глины, а также равномерное распределение вяжущего вещества является затрудненным из-за большой динамической вязкости смеси воды с глиной в пределах применяемых значений водно-глинистого соотношения. Однако в результате элементарных воздействий, в том числе сдвига, имеет место обратимый процесс перестройки внутренней структуры системы песчаная основа – водно-глинистая паста, и уменьшение внутреннего трения с течением времени. Масса является геологически нестабильным материалом, что проиллюстрировано изменением вязкости тиксотропной системы во время сдвига и при возвращении в состояние равновесия (рис. 4). После завершения смешивания (сдвига) наступает медленное возвращение к исходной системе. Возвращение к исходному состоянию является достаточно медленным, что обеспечивает проведение измерений, позволяющих описать его ход.

Оценка изменений реологических свойств приготовленной массы с бентонитом выполнена исходя из метода ультразвуковых испытаний, заключающегося в определении значения продольной скорости (распространяющейся только в направлении оси  $x$ ) волны, проходящей через образец массы, размещенный в пробоотбирателе (рис. 5) [3]. Испытательные стенды смесителя и измерительного поста для ультразвуковых испытаний показаны на рис. 5, 6, а результаты измерений – на рис. 7. В ультразвуковых испытани-



Рис. 4. Ход изменений вязкости тиксотропной системы во время сдвига и при возвращении в состояние равновесия (модель процесса) [3]



Рис. 5. Смеситель роторный, лабораторный MTL-5

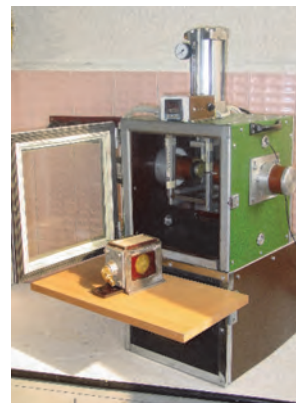


Рис. 6. Стенд для ультразвуковых испытаний формовочных масс

ях влажной формовочной массы рассматриваются изменения динамического модуля упругости. Его величина зависит от упругих свойств кварцевой основы и реологических свойств пасты, изготовленной из связующего, а также от динамической вязкости этой пасты. Упругие свойства кварцевой основы не подлежат никаким изменениям в массе во время и после ее приготовления. Изменения величины динамического модуля, наблюдаемые в уплотненном образце массы (кажущаяся плотность  $\sim 1,55 \text{ г/см}^3$ ), вызваны лишь изменениями, происходящими в водно-глинистой системе. Наблюдаемые приращения значений скорости продольной волны и модуля упругости массы в период восстановления начинаются с минимальных значений, касающихся состояния массы в конце приготовления массы в смесителе.

На рис. 7 представлены результаты ультразвуковых измерений в образцах массы, уплотненных в измерительном пробоотбирателе, непосредственно после приготовления массы. Массы для испытаний приготовлены в роторном смесителе, выполняя смешивание один раз со скоростью 800 об/мин, второй раз – 360 об/мин. Время смешивания для обоих случаев – одинаковое. Приготовленные таким способом массы подвергали ультразвуковым испытаниям, образцы уплотняли в одинаковой степени – кажущаяся плотность в обоих случаях составляла  $1,52 \text{ г/см}^3$ . Установлено, что более быстрый сдвиг позволяет «более глубокую» перестройку структуры, что отражается в больших изменениях в период от деления массы как скорости волны (рис. 7), так и модуля динамической упругости массы (рис. 8). Эти испытания подтверждают полученные ранее результаты для одних бентонитовых паст, описанные в работе [3]. Эти массы будут иметь другие технологические свойства, прочность, уплотняемость, текучесть.

### Выводы

Эффективность освежения массы вытекает прежде всего из состояния подготовки массы оборотной смеси, а также ее обработки в роторном смесителе. Прежде всего требуется дезагрегация массы, проводимая до момента получения монозерен установленной величины. Во избежание измельчения зерен во время смешивания необходимо, чтобы процесс выполнялся в условиях псевдоожижения слоя массы, которое получается путем выбора формы, размещения, величины и расположения лопастей ротора и скорости их вращения.

Конструктивные и эксплуатационные параметры применяемых роторов влияют также на ход и результаты остальных элементарных операций: перемешивание и распределение компонентов массы, активацию, охватывающую также явление тиксотропии вяжущего вещества.

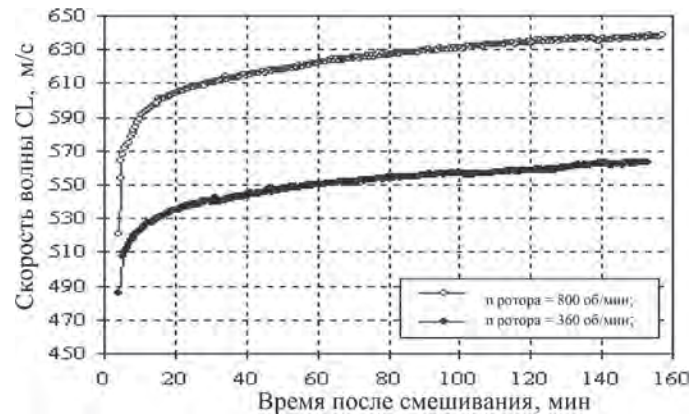


Рис. 7. Изменение скорости распространения продольной ультразвуковой волны во влажной массе после смешивания в роторном смесителе

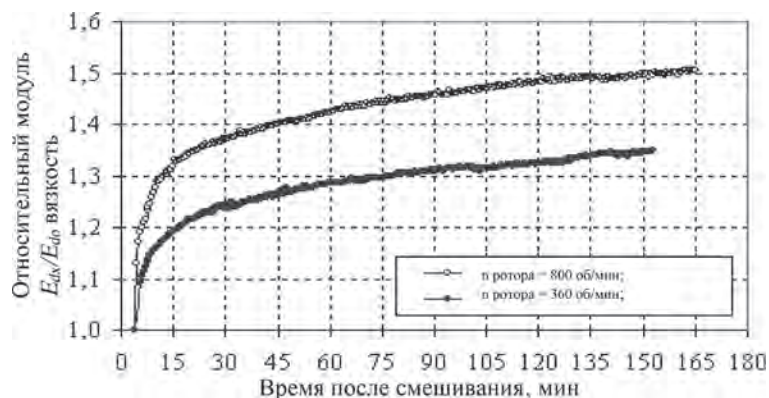


Рис. 8. Изменение величины относительного модуля динамической упругости влажной массы после выполнения смешивания в роторном смесителе

Существенное значение имеют реологические свойства вязущего вещества: водно-глинистой пасты. Снижение динамической вязкости этого материала придает массе большую текучесть, облегчает конструкцию хорошо развитых перемычек, соединяющих зерна, что впоследствии приводит к увеличению прочности массы после уплотнения в форме. Реализуемые операции приводят к улучшению условий смешивания компонентов и они вызваны изменениями, происходящими в водно-глинистой системе.

### Литература

1. Руды Ч. Анализ процессов, происходящих в роторных смесителях: Дис. ... д-р техн. наук. Горно-Металлургическая Академия. Краков.
2. Федорьшин А., Руды Ч. Parameters and Processes of Synthetic Sand Rebonding in Turbine Mixers. Явления и параметры процесса освежения синтетической формовочной массы в роторных смесителях. Archives of Metallurgy and Materials. Polish Academy of Sciences. Committee of Metallurgy Institute of Metallurgy and Materials Science. Vol. 53, 3/2007, s. 415- 421.
3. Зых Е. Явление тиксотропии в водно-глинистых системах и влажных формовочных массах – ультразвуковые испытания // Архив Литейного дела. Ежегодник 6. 2006. № 18 (2/2). С. 465.
4. Федорьшин А., Зых Е., Руды Ч. Проблематика испытаний в области освежения циркулирующей синтетической массы с бентонитом с использованием роторных смесителей.
5. Флемминг Е., Левандовски Я. Л. Современные формовочные материалы с точки зрения рационального управления материальными потоками // Обзор литейного дела. 1995. № 4. С. 131.
6. Ивакин Р. И. Механизм и кинетика процесса обволакивания при смешивании песчано-глинистых формовочных материалов // Литейное производство. 1982. № 10. С. 24.
7. Ершов М. Ю., Трещалин А. В. Опыт разработки и освоения смесителя формовочных материалов // Литейное производство. 2000. № 11. С. 12.
8. Ершов М. Ю. Роль активации в процессе приготовления формовочных смесей // Материалы междунар. науч.-техн. конф. «Прогрессивные технологические процессы и оборудование в литейном производстве». М., 2002. С. 27–32.
9. Красичков В. А. Исследование процесса селективного перемешивания единых песчано-глинистых смесей в центробежном бескатковом смесителе // Литейное производство. 2004. № 1. С. 32.
10. Трещалин А. В., Ершов М. Ю., Миронов А. В. Сравнительный анализ бескатковых смесителей // Литейное производство. 1998. № 2, 3. С. 24.
11. Проспекты и материалы каталогов фирм, производителей роторных смесителей, а также их сайты: www.ideapro.com; pl; www.eirich.com; www.fondarc.com; www.rhinomachines.com; www.bengioannimachine.com