

УДК 621.742.433

DOI: 10.35211/1990-5297-2025-7-302-72-75

*Н. А. Кидалов, А. С. Адамова, М. Д. Безмогоричный, А. А. Белов, С. Р. Поляк***ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ
БЕНТОНИТОВОЙ СУСПЕНЗИИ
НА СВОЙСТВА ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТЫХ СМЕСЕЙ****Волгоградский государственный технический университет**

e-mail: lp@vstu.ru

В работе представлены результаты исследования влияния продолжительности ультразвуковой обработки бентонитовой водно-глинистой суспензии на изменение ее условной и динамической вязкости, а также дисперсности и формы глинистых частиц. Показано, что ультразвуковая обработка бентонитовой суспензии в течение 15 минут при удельной мощности $1,78 \text{ Вт/см}^3$ и резонансной частоте 40 кГц приводит к снижению среднего размера глинистых частиц на 33,46 %, а также повышению предела прочности песчано-глинистых смесей во влажном состоянии на 14,29 %.

Ключевые слова: песчано-глинистые смеси, водно-глинистые суспензии, вязкость, ультразвуковая обработка, кавитация

*N. A. Kidalov, A. S. Adamova, M. D. Bezmozorichny, A. A. Belov, S. R. Polyak***STUDY OF THE EFFECT OF ULTRASONIC TREATMENT
ON THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF WATER-CLAY SUSPENSIONS****Volgograd State Technical University**

The paper presents the results of a study of the effect of the duration of ultrasonic treatment of bentonite water-clay suspension on the change in the conditional and dynamic viscosity, as well as the dispersion and shape of clay particles. It is shown that ultrasonic treatment of bentonite suspension for 15 minutes at a specific power of $1,78 \text{ W/cm}^3$ and a resonance frequency of 40 kHz leads to a decrease in the average size of clay particles by 33,46 %, as well as an increase in the tensile strength of sand-clay mixtures in a wet state by 14,29 %.

Keywords: sand-clay mixtures, water-clay suspensions, viscosity, ultrasonic treatment, cavitation

Введение

Изготовление фасонных отливок путем гравитационной разливки жидкого металла в разовые песчано-глинистые формы по-прежнему является основным способом литейного производства. К наиболее важным факторам, оказывающим непосредственное влияние на точность, шероховатость поверхности, механические и служебные свойства литой продукции при этом, относится качество литейной формы, определяемое ее первичными (зерновое строение, минералогический и химический состав смесей и др.) и, как следствие, вторичными свойствами: газопроницаемость, газотворность, прочность, текучесть и т. д. Поэтому для придания смесям заданных характеристик необходим тщательный подход к выбору используемых в процессе приготовления формовочных смесей исходных материалов и их предварительной подготовки. Например, смесеприготовление с использованием водно-глинистой суспензии (ВГС) взамен введения глины в «сухом» виде позволяет снизить ее расход и пылевыведение на рабочих местах,

способствует формированию более прочной адгезионной связи связующего с огнеупорным наполнителем за счет увеличения межплоскостного расстояния между пакетами кристаллической решетки глинистых минералов при ее набухании.

Как каолиновые, так и бентонитовые глины имеют свои преимущества и недостатки. Преимущества каолиновых глин – это высокая огнеупорность и сравнительно низкая стоимость, однако они хуже взаимодействуют с водой, имея низкую коллоидальность, быстро образуя осадок. Смеси с использованием данных суспензий обладают недостаточной прочностью во влажном состоянии, что особенно необходимо при изготовлении крупногабаритных и высоких литейных форм. Бентонитовые глины лишены этого недостатка, но более высокая набухаемость с увеличением времени выстаивания суспензии в специальных агрегатах в течении 16–24 ч приводит к недопустимому возрастанию вязкости и накладывает существенные ограничения на ее применение в технологическом процессе смесеприготовления.

На современных автоматических линиях применяются формовочные смеси с низким содержанием влаги и высокой прочностью, поэтому требуются высококонцентрированные суспензии щелочного или активированного щелочноземельного бентонита. Однако такие суспензии уже при содержании бентонита 10–15 мас.% практически невозможно транспортировать по трубопроводу к смешивающим агрегатам, происходит агломерация глинистых частиц, кроме того они не обеспечивают однородного распределения связующего по поверхности огнеупорного наполнителя. Для решения данной проблемы авторами работ [1–5] предлагается использование различных понизителей вязкости: углещелочной реагент, лигносульфонаты технические, ДС-РАС, кальцинированная и каустическая сода, нитрилотриметилфосфоновая кислота, полифенолы лесохимические, модификаторы «Литасорб» и др. Однако применение данных материалов приводит к увеличению газотворности смеси, необходимости выделения дополнительных площадей для их хранения, предварительной подготовки и входного контроля качества.

Несмотря на перечисленные недостатки применение водно-глинистых суспензий востребовано ввиду положительного влияния на свойства формовочных смесей. Использование их в процессе приготовления позволяет добиться более равномерного распределения связующего по поверхности огнеупорного наполнителя, увеличения прочности смеси и упрощает контроль над ее влажностью, как следствие, положительно влияет на качество изготавливаемых отливок, предостерегая такие дефекты как газовые раковины, ужимины и пригар. Поэтому для решения вышеизложенной проблемы предлагается метод физической обработки водно-глинистых суспензий с помощью ультразвуковых (УЗ) волн. Такая обработка позволяет добиться большего расщепления агрегатов глины по сравнению с механическим перемешиванием, количество активной глины, в смесях с обработанной УЗ суспензией, уступает только процессу химической активации [6]. В процессе обработки в суспензии возникают пузырьки воздуха – происходит кавитация – из-за чего частицы глины измельчаются. В результате этого тело суспензии становится более однородным, происходит перераспределение по-

верхностных зарядов глинистых частиц, возрастает гидратация, а также изменяются ее тиксотропные свойства.

Материалы и методики исследования

Ультразвуковой обработке подвергалась 15%-ная водно-глинистая суспензия на основе бентонитовой глины Латненского месторождения марки С1Т₂ (ГОСТ 28177–89). Проведение исследований осуществлялось с использованием ультразвуковой ванны ВУ-09-Я-ФП-01 со стандартным встроенным пьезокерамическим преобразователем, УЗ-обработка суспензии производилась при удельной мощности 1,78 Вт/см³ и резонансной частоте 40 кГц с длительностью от 5 до 45 мин. Определялись следующие свойства: плотность с использованием ареометра, условная вязкость с использованием вискозиметра ВЗ-4 с диаметром сопла – 4 мм; динамическая вязкость на ротационном реометре HAAKE MARS iQ Air при температуре 20 °С. Изучение влияния УЗ-обработки на изменение дисперсности глинистых частиц после сушки суспензии производилось с использованием электронного микроскопа Versa 3D.

Результаты и их обсуждение

Условная вязкость контрольной (не обработанной) бентонитовой ВГС составила 57 с. При воздействии ультразвуком в течение 5 мин вязкость снизилась до 50 с. 10-минутная обработка снизила вязкость до 43 с. 15-минутная обработка – на 34 % (до 36 с) (рис. 1). Значение условной вязкости бентонитовой суспензии после 15-минутной обработки ультразвуком минимально, но при дальнейшей обработке (20 мин и более) наблюдается обратный рост условной вязкости, достигающий значений близких к значениям контрольного (исходного) не обработанного образца. Выявлено что длительное воздействие ультразвука неблагоприятно сказывается на реологических свойствах суспензии, так как начинаются процессы коагуляции и агрегирования глинистых частиц в виду их столкновения между собой и последующему соединению под действием ультразвуковых волн. Поэтому можно сделать вывод, что более продолжительная обработка УЗ ведет к снижению стабильности глинистых суспензий и способствует увеличению образованию осадка, что повышает вязкость суспензии.

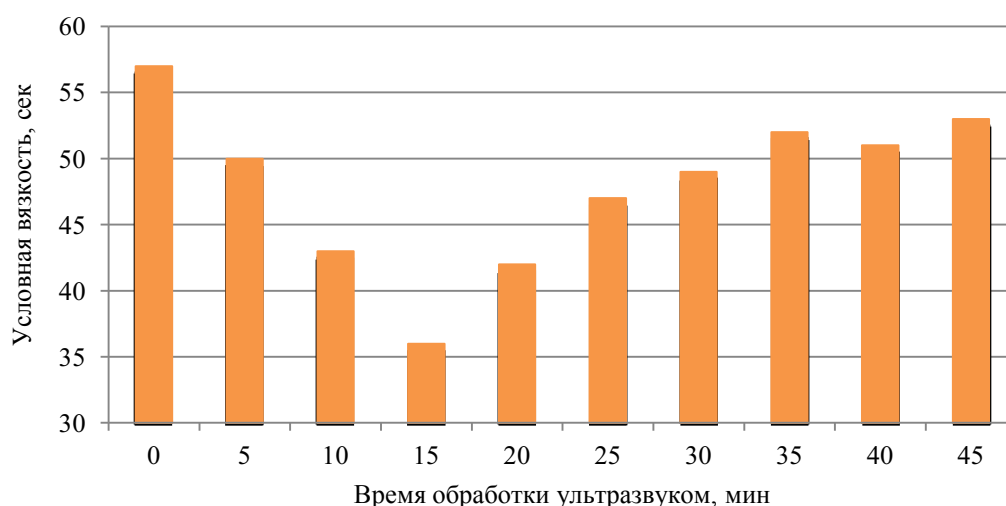


Рис. 1. Влияние продолжительности ультразвуковой обработки на условную вязкость 15%-ной бентонитовой суспензии

Для определения динамической вязкости исследовались контрольная и экспериментальные (обработанные УЗ) бентонитовые суспензии сразу после приготовления, так как после отстаивания их свойства могут сильно меняться. Образцы помещались в пространство между двумя рабочими поверхностями прибора – подвижной и статичной. В процессе работы ротационная машина измеряет динамическую вязкость путем измерения крутящего момента двигателя, необходимого для поддержания заданной скорости сдвига в измерительной системе, заполненной исследуемым образцом (суспензией). При увеличении скорости сдвига динамическая вязкость суспензий снижается. Для всех бентонитовых суспензий характерно расположение восходящей линии гистерезиса ниже нисходящей. Это говорит о том, что исследуемая жидкость находится в более под-

вижном состоянии при обратном ходе эксперимента, т.е. суспензии требуется время для восстановления своей структуры при снятии нагрузки [7]. Такие изменения условной и динамической вязкостей объясняются тем, что в процессе воздействия ультразвуком возникает кавитационный эффект. При этом сами частицы, покрытые пленкой воды, служат зародышевыми центрами кавитации, вызванной накопленным давлением ультразвуковых волн. При отрицательном давлении около частиц глины как зародышей кавитации возникают заполненные воздухом и парами воды пузырьки, давление в которых значительно меньше давления в окружающей среде. Вследствие этого происходит резкое ударное захлопывание пузырьков. Это приводит к увеличению дисперсности глинистых частиц на 33,46 %, и как следствие повышению их удельной поверхности (рис. 2).

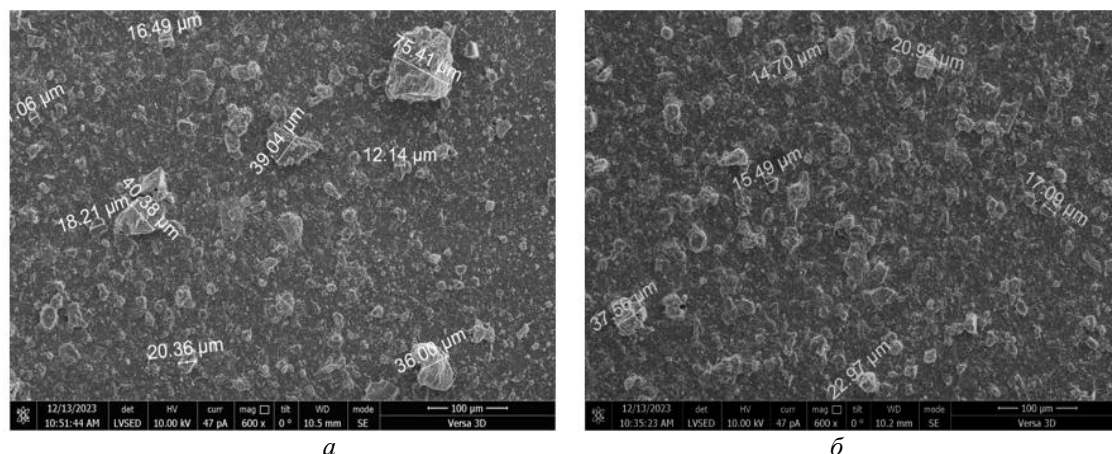


Рис. 2. Дисперсность глинистых частиц до (а) и после (б) ультразвуковой обработки, $\times 600$

Следующим шагом проводилось испытание на газопроницаемость (ГОСТ 23409.6–78), текучесть (ГОСТ 23409.17–78), уплотняемость (ГОСТ 23409.13–78) и прочность на сжатие во влажном состоянии (ГОСТ 23409.7–78) опытной и контрольной формовочных смесей (таблица). Использовались следующие материалы – отработанная формовочная смесь и 15%-ная бентонитовая суспензия, обработанная ультразвуком в течение 15 мин. Составы смесей были идентичны друг другу по процентному соотно-

шению используемых материалов (по составу): отработанная смесь – 85 мас.%, песок кварцевый – 10 мас.%, водно-глинистая суспензия 5 мас.%. Для приготовления опытной и контрольной смесей использовались смешивающие бегуны марки 018М2. Перемешивание производилось в течение 10 минут с последующим изготовлением стандартных цилиндрических образцов и стандартных образцов для определения текучести по ГОСТ 23409.17–78 на копре модели 2М030 с массой груза 6,62 кг.

Свойства исследуемых смесей

Свойство	Контрольная смесь	Опытная смесь
Газопроницаемость, ед.	103	114
Текучесть, %	73	67
Уплотняемость, %	40	35
Предел прочности на сжатие во влажном состоянии, кПа	84	98

Из таблицы видно, что применение ультразвуковой обработки водно-глинистой суспензии привело к снижению текучести и уплотняемости, повышению газопроницаемости и прочности смеси во влажном состоянии. Непосредственное влияние на свойства формовочных смесей оказывает удельная поверхность глинистых частиц – чем дисперснее глинистые частицы, тем лучше происходит их взаимодействие с песком в формовочной смеси. Процесс обработки УЗ позволяет добиться измельчения глинистых частиц, от чего возрастает уплотняемость – мелкие частицы занимают свободные пространства между более крупными и за счет этого увеличивается масса смеси в занимаемом объеме. Газопроницаемость также зависит не только от количества связующего, но и того как его частицы распределены по телу смеси. Расщепление агломератов глин, приводит к распределению глинистых частиц тонким слоем по поверхности зерна огнеупорного наполнителя и, как следствие, росту газопроницаемости. Рост предела прочности при сжатии во влажном состоянии обусловлен повышением тиксотропных свойств у обработанных суспензий, так как с увеличением тиксотропии повышается вязкость суспензий в состоянии покоя.

Заключение

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено положительное влияние ультразвуковой обработки на изменение условной и динамической вязкости бентонитовой суспензии, как следствие – свойства пес-

чано-глинистых смесей. Показано, что ультразвуковая обработка бентонитовой суспензии в течение 15 минут при удельной мощности 1,78 Вт/см³ и резонансной частоте 40 кГц приводит к снижению среднего размера глинистых частиц на 33,46 %, а также повышению предела прочности песчано-глинистых смесей во влажном состоянии на 14,29 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Берг, П. П. Формовочные материалы / П. П. Берг. – Москва : Машгиз, 1963. – 408 с.
2. Баранов, В. С. Глинистые растворы для бурения скважин в осложненных условиях / В. С. Баранов. – Москва : Гостехиздат, 1955. – 216 с.
3. Кидалов, Н. А. Исследование влияния понизителя вязкости – углещелочного реагента на бентонитовые водно-глинистые суспензии и свойства формовочных смесей на их основе / Н. А. Кидалов, А. С. Князева // Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р. Е. Алексеева. – Н. Новгород, 2014. – № 1 (103). – С. 205–211.
4. Влияние углещелочного реагента на свойства формовочных смесей с применением высококонцентрированных водно-глинистых суспензий / Н. А. Кидалов, Н. А. Осипова, А. С. Князева, А. Сахарова // Литейное производство. – 2014. – № 1. – С. 21–23.
5. Волкомич, А. А. Новые составы формовочных смесей с применением понизителей вязкости глинистых систем / А. А. Волкомич, Т. М. Чапчикова // Технология автомобилестроения. Сер. 14. – 1977. – № 1. – С. 1–13.
6. Определение активной глины в составе формовочной смеси / Н. А. Кидалов, А. С. Адамова, И. Д. Машенцев, М. Д. Безмогорычный // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 7 (278) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2023. – (Серия «Металлургия»). – С. 42–47.
7. Влияние ультразвука на динамическую вязкость водно-глинистых суспензий / Н. А. Кидалов, А. С. Адамова, М. Д. Безмогорычный, А. И. Краснопрошин // Литейное производство. – 2024. – № 1. – С. 25–27.