

РЕОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ШЛИКЕРОВ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ТЕРМОСТОЙКОЙ ЛИТИЙАЛЮМОСИЛИКАТНОЙ КЕРАМИКИ

Канд. техн. наук **О. В. КИЧКАЙЛО** (e-mail: kichkailo@belstu.by), д-р техн. наук **И. А. ЛЕВИЦКИЙ** (e-mail: levitskii@belstu.by)

Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет» (Республика Беларусь, г. Минск)

Изучено влияние различных электролитов (кальцинированной соды, жидкого стекла, триполифосфата натрия) и их комбинаций, а также разжижающих добавок (Terrablend, Complex M, Fluimis FL70, Fluicer PD96/F, Hydrocer LC) на реологические свойства и устойчивость керамического шликера, используемого при получении термостойкой литийалюмосиликатной керамики. Установлено, что максимальное разжижение керамической суспензии достигается при введении электролита Complex M, что обусловлено созданием одновременно двух факторов устойчивости – электрокинетического и адсорбционно-сольватного

Ключевые слова: литийалюмосиликатная керамика, керамический шликер, реология, текучесть, устойчивость, разжижающая добавка

Процессы течения и структурообразования в высококонцентрированных водных минеральных суспензиях, к которым относятся керамические шликеры, способы их регулирования и разработка способов повышения качества готовых изделий относятся к числу актуальных проблем технологии керамического производства.

В результате исследований, проведенных ранее [1], синтезирована термостойкая керамика на основе системы $\text{Li}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ методом шликерного литья в пористые формы, способного обеспечить получение изделий сложной формы. Качественное формование изделий способом шликерного литья может быть достигнуто только при: требуемой текучести суспензии, обеспечивающей хорошую заполняемость пористых форм; минимальном влагосодержании; низкой загустеваемости и скорости оседания частиц шликера, сообщающей прочность отливки; удовлетворительной фильтрующей способности слоя массы, образующегося на стенках формы при литье; отсутствии газовых пузырей и вспенивания при отливке изделий; устойчивости массы к образованию посечек при литье и обжиге [2–4].

В связи с этим возникла необходимость в исследовании реологических характеристик, устойчивости и фильтрационных свойств керамической суспензии разработанного состава массы, а также в подборе оптимального состава и количества ком-

плексного разжижителя, применение которого обеспечит как требуемые технологические показатели шликера, так и свойства готовых термостойких изделий.

В качестве исходных компонентов для получения термостойкой керамики использовали: просяновский каолин КС-1 (ГОСТ 21286–82), огнеупорную глину марки «Керамик-Веско» (ГОСТ 3226–93), кварцевый песок марки ВС-050–1 (ГОСТ 22551–77), технический глинозем Г-0 (ГОСТ 30559–98), карбонат литья марки ЛУ-1 (ТУ 6-09-37228–89) и апатитовый концентрат месторождения Олений Ручей первого сорта (ГОСТ 22275–90). Приготовление опытных масс осуществляли по шликерной технологии методом совместного мокрого помола составляющих в лабораторной шаровой мельнице марки Speedy до остатка на сите № 0063 К в количестве 1–2 %*.

Реологические свойства шликерных суспензий определяли на вискозиметре Энглера; для измерения pH использовали прибор HI 8314 фирмы Hanna Instrument; электрокинетический потенциал (ξ -потенциал) оценивали по скорости электрофореза на лабораторной установке; скорость набора керамической массы вычисляли методом гипсовых стержней. Устойчивость шликера устанавливали методами

* Здесь и далее массовое содержание, %.

Таблица 1. Шихтовые составы керамических масс

Номер состава	Материал и его содержание, %					
	Каолин просяновский	Глина «Керамик-Веско»	Карбонат лития	Песок кварцевый	Глинозем	Апатитовый концентрат
19	40,9	15,3	23,6	14,7	0,5	5,0
20	42,2	15,7	19,5	15,1	2,5	5,0
21*	43,6	16,3	15,0	15,5	4,6	5,0
22	45,1	16,7	10,3	16,0	6,9	5,0
23	47,9	17,6	5,5	14,6	9,4	5,0
М	52,2	19,2	—	18,2	5,4	5,0

* Оптимальный состав.

расслоения (базируется на измерении объема слоя отделившейся временной связки от основной массы при ее хранении) и разделения (основан на определении относительного количества содержания связки в различных по высоте слоях шликера после определенного времени выстаивания) [5].

Шликер может быть образован при незначительном химическом взаимодействии и растворимости частиц в жидкой фазе. Однако говорить об отсутствии взаимодействия нельзя, так как оно всегда существует, но проявляется незначительно и определяется равновесным состоянием, присущим для данной системы твердое–жидкое. При взаимодействии твердых частиц с жидкостью в суспензии происходит ионный обмен, при этом часть ионов материала переходит в жидкость, а ионы жидкости адсорбируются на поверхности твердой фазы и образуют двойной электрический слой, что приводит к флокуляции-дефлокуляции шликера [4].

Как известно [6], карбонат лития мало растворим в воде – растворимость Li_2CO_3 при 25 °С составляет 1,26 г в 100 г воды. Для изучения влияния содержания карбоната лития на реологические свойства водных суспензий приготовлены керамические массы составов 19 – 23 (табл. 1), содержащие от 5,5 до 23,6 % Li_2CO_3 . Дополнительно для сравнения подготовлен состав М, полученный путем выведения карбоната лития из оптимального состава 21 и его пересчета на 100 %. Шликеры для исследования готовили по описанной методике без введения разжижающих добавок, относительная влажность суспензий составляла 50 ± 1 %.

Известно, что суспендированные в воде частицы материалов приобретают заряд в результате адсорбции тех или иных ионов, а также полярных молекул воды, что обеспечивает дисперсионной среде определенное значение рН [4, 7]. Оптимальной щелочностью для керамических шликеров яв-

ляется рН, составляющий 8,5 – 9,2 [2, 3]. При рН суспензии, лежащем в пределах 9,6 – 10,9, шликер трудно разжижается, подвержен тиксотропному загустеванию, требует значительно большего количества электролитов. На рис. 1 приведена зависимость рН исследованных шликеров от состава.

Как видно из представленных данных, величина рН шликера без карбоната лития (состав М) равна 10,10, при введении 5,5 % карбоната лития (состав 23) водородный показатель возрастает до 10,71 и при дальнейшем повышении количества Li_2CO_3 до 23,6 % (состав 19) изменяется незначительно, увеличиваясь от 10,71 до 10,80. Рост значений рН глинистой суспензии при добавке карбоната лития обусловлен протеканием гидролиза Li_2CO_3 , что вызывает появление избытка ионов OH^- и, соответственно, повышение щелочности среды. Можно предположить, что повышенное значение рН (10,10) шликера состава М, не содержащего карбонат лития, обусловлено присутствием растворимых

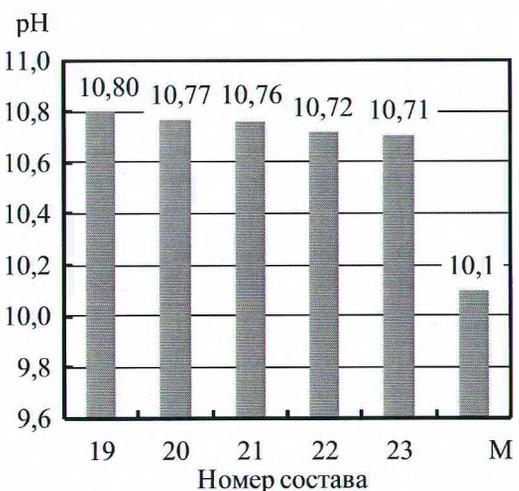


Рис. 1. Зависимость рН шликера от состава

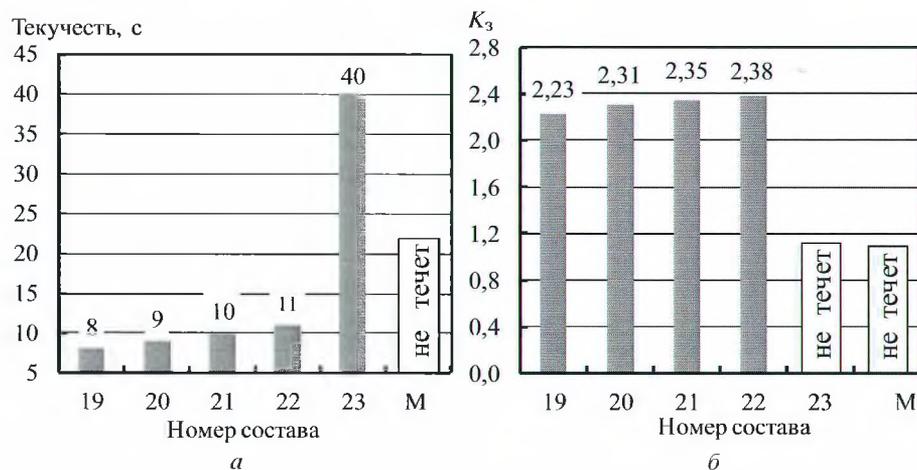


Рис. 2. Зависимость текучести (а) и коэффициента загустеваемости (б) шликера от состава

солей в глине и остаточных электролитов, которые были введены в процессе обогащения природных каолинов.

На рис. 2 приведены зависимости изменения текучести и коэффициента загустеваемости исследованных шликеров от состава масс. Можно отметить, что наилучшими литьевыми показателями обладает шликер состава 19, его текучесть составляет 8 с, коэффициент загустеваемости $K_3 = 2,23$. При этом количество карбоната лития составляет 23,6 %, суммарное содержание глинистых компонентов – 61,2 %.

При повышении доли глинистых компонентов в массе и одновременном снижении содержания карбоната лития текучесть суспензий ухудшается. Причем если вязкость керамических суспензий на основе составов 20 – 22 снижается незначительно (текучесть составляет 9 – 11 с), то шликер на основе состава 23 характеризуется высокими значениями текучести (40 с) и после выстаивания в течение 30 мин не течет, что может быть обусловлено повышенным содержанием глинистых компонентов в массе. Необходимо отметить, что керамический шликер состава М без добавки карбоната лития при влажности 50 % представляет собой вязкую дисперсную систему со структурированным характером течения.

На основе полученных экспериментальных данных можно сделать вывод, что карбонат лития способствует улучшению реологических характеристик шликера (снижению текучести и коэффициента загустеваемости), воздействуя на глинистую суспензию как электролит. Катионы Li^+ , обладая наименьшей энергией адсорбции (на основе ряда Хофмейстера [7]), замещают находящиеся в сорбированном комплексе катионы двухвалентных металлов сначала в диффузном слое, а затем и в по-

верхностном, что приводит к расширению диффузного слоя и, соответственно, увеличению электрокинетического потенциала системы.

При этом происходит диспергирование слипшихся частиц и разрыхление структуры шликера. Карбонат-ионы при взаимодействии с двухвалентными катионами образуют выпадающие в осадок нерастворимые соединения, в результате чего вода из связанного состояния в гидратных оболочках переходит в свободную. Однако, по всей видимости, концентрация растворившегося Li_2CO_3 превышает емкость поглощения.

При накоплении избыточных ионов Li^+ наряду с рассмотренными процессами, обуславливающими перевод связанной воды в свободную, начинают действовать процессы обратного характера. Одна молекула электролита Li_2CO_3 дает два катиона Li^+ , которые вытесняют из сорбированного комплекса два двухвалентных катиона, и только один анион CO_3^{2-} , способный связать в нерастворимое соединение один двухвалентный катион. Свободные двухвалентные катионы создают вокруг себя гидратную оболочку, что приводит к повышению вязкости суспензии. Таким образом, при превышении концентрации электролита сверх оптимальной толщина диффузного слоя мицелл уменьшается, снижается электрокинетический потенциал системы и возрастает вязкость.

Эффективным методом регулирования литьевых характеристик керамических шликеров является введение добавок электролитов. Разжижающее действие индивидуальных и комплексных электролитов достаточно изучено. Однако, несмотря на большое количество сведений о применении различных разжижителей, их эффективное количество для каждого шликера подбирается экспериментально.

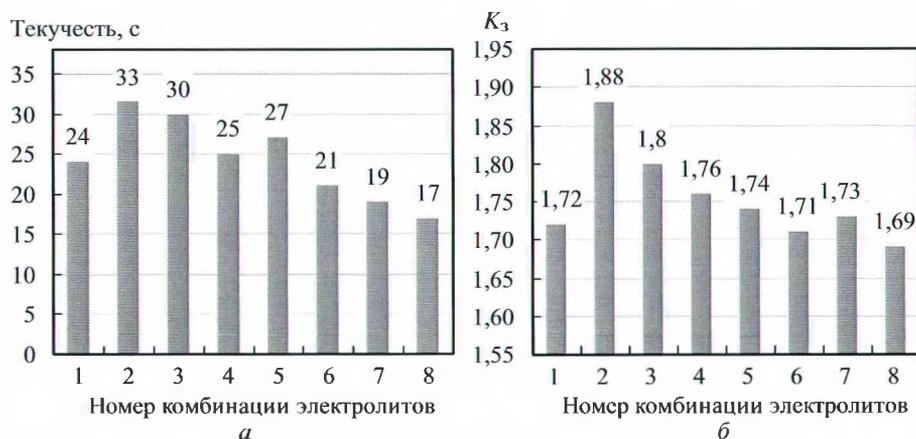


Рис. 3. Зависимость текущести (а) и коэффициента загустеваемости (б) от комбинации электролитов

Практика применения разжижающих добавок для обеспечения требуемых реологических свойств и агрегативной устойчивости шликеров показывает, что использование индивидуальных электролитов в керамических шликерах, как правило, малоэффективно. Это связано со сложными физико-химическими процессами (ионный обмен, адсорбция) в керамической суспензии, которые определяют взаимодействие жидкой и твердой фаз и обеспечивают соответствующие качества шликера. По данным исследований [8 – 10], наиболее приемлемым и научно обоснованным является применение комплекса разжижающих добавок.

Для разжижения керамического шликера на основе разработанного состава 21 использовали наиболее изученные и доступные в промышленности электролиты – кальцинированную соду Na_2CO_3 , жидкое стекло $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,8\text{SiO}_2$, триполифосфат натрия $\text{Na}_3\text{P}_3\text{O}_{10}$ (ТПФН) и углещелочной реагент (УЩР). При проведении исследований электролиты вводили в массу сверх 100 % по сухому веществу как раздельно, так и комплексно. Шликеры для исследования готовили по описанной методике при относительной влажности $40 \pm 1 \%$.

Исходная керамическая масса оптимального состава 21 без добавки электролитов при влажности $40 \pm 1 \%$ характеризуется текущостью 45 с. После выстаивания в течение 30 мин шликер загустевает и не течет вследствие тиксотропного упрочнения, выражающегося в переориентировке частиц суспензии и молекул воды и образовании прочной коагуляционной структуры. Значение pH шликера без электролитов составляет 10,55.

При экспериментальном исследовании индивидуального введения электролитов установлена их низкая эффективность. Так, при добавлении кальцинированной соды в пределах от 0,1 до 0,7 % улучшения текущести шликера практически не происходит. При введении жидкого стекла в тех же

пределах шликер разжижается незначительно (текущность 33 – 42 с) и характеризуется высокими значениями коэффициента загустеваемости (2,6 – 3,2), что свидетельствует об излишней тиксотропии керамического шликера при выстаивании.

Более эффективное разжижающее действие наблюдается при введении в суспензию триполифосфата натрия (ТПФН): текущность находится в интервале 26 – 32 с, коэффициент загустеваемости – 1,7 – 2,8. Однако и в этом случае требования по текущести керамического шликера (8 – 12 с) не обеспечиваются.

При изучении влияния органического разжижителя УЩР на свойства керамической суспензии выявлено, что его введение приводит к коагуляции шликера, в связи с этим исследование действия указанного электролита в комплексе с другими разжижителями не проводилось.

Так как индивидуальное применение исследованных разжижителей – кальцинированной соды, жидкого стекла, триполифосфата натрия и УЩР – недостаточно эффективно, при дальнейших исследованиях использовались различные комбинации электролитов, составы которых указаны в табл. 2.

Как видно из данных, представленных в табл. 2 и на рис. 3, время истечения и коэффициент загустеваемости шликера при использовании комбинаций электролитов уменьшаются по сравнению с введением этих добавок раздельно. Однако указанные характеристики шликера остаются достаточно высокими, что затрудняет его использование в условиях производства для литья изделий сложной формы.

Наилучшая текущность (17 с) наблюдается при использовании комбинации из трех электролитов – жидкое стекло (0,05 %), кальцинированная сода (0,05 %) и триполифосфат натрия (0,15 %). Коэффициент загустеваемости при этом находится в пределах 1,69. Это объясняется способностью по-

Таблица 2. Реологические свойства керамического шликера при использовании комбинаций электролитов

Номер комбинации электролита	Состав комбинации электролитов, %			Текущность, с	K ₃
	Na ₂ CO ₃	Na ₂ O·2,8SiO ₂	Na ₅ P ₃ O ₁₀		
1	0,2	0,2	–	24	1,72
2	0,05	0,05	0,05	33	1,88
3	0,10	0,05	0,05	30	1,80
4	0,15	0,05	0,05	25	1,76
5	0,05	0,10	0,05	27	1,74
6	0,05	0,15	0,05	21	1,71
7	0,05	0,05	0,10	19	1,73
8	0,05	0,05	0,15	17	1,69

лифосфат-ионов образовывать прочные малодиссоциируемые комплексы с ионами практически всех двухвалентных катионов, в ходе таких процессов происходит переход физически связанной воды в свободную, что способствует разжижению шликера.

Недостатками ТПФН являются довольно высокая стоимость, а также протекание процесса гидролиза при повышенной температуре в щелочной среде с образованием ортофосфатов натрия. Это приводит к увеличению вязкости суспензий с течением времени.

Таким образом, проведенные исследования по подбору электролитов позволили сделать вывод о низкой эффективности наиболее широко применяемых разжижителей и их комбинаций на реологические свойства керамического шликера на основе оптимального состава 21.

В настоящее время на керамических предприятиях для получения стабильных агрегативно устойчивых шликеров используются комплексные электролиты [2, 4]. В связи с этим проводилось исследование влияния на реологические свойства керамической суспензии оптимального состава 21 следующих разжижителей: Terrablend (Arkema, Франция), Complex M (ЧПУП «БелХимос», Беларусь), Fluimis FL70 (Mistral SRL, Италия), Fluicer PD96/F (Ceramco, Италия), Hydrocer LC (Hydra Italia, Италия).

На рис. 4 представлены зависимости текущести и коэффициента загустеваемости шликера состава 21 от вида и количества используемого электролита. Результаты исследования, представленные на рис. 4, показали, что применение электролитов марок Fluicer PD96/F и Complex M оказывает максимально положительный эффект на вязкость керамического шликера состава 21. В качестве оптимального выбран электролит марки Complex M, так как является более дешевым отечественным раз-

жижителем, что дает возможность снизить себестоимость готовой продукции.

Использование электролита Complex M уже при содержании 0,3 % позволяет увеличить подвижность и уменьшить степень тиксотропного упрочнения керамического шликера, что обеспечивает снижение текущести до 8 с и коэффициента загустеваемости до 1,23. Кроме этого для указанной

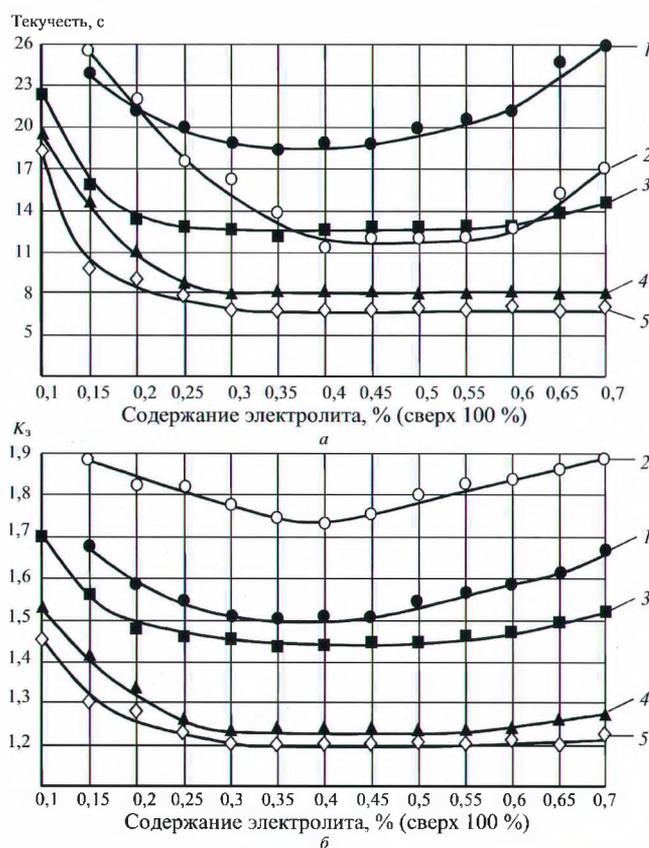


Рис. 4. Зависимость текущести (а) и коэффициента загустеваемости (б) шликера от количества и марки электролита: 1 – Terrablend; 2 – Fluimis FL70; 3 – Hydrocer LC; 4 – Complex M; 5 – Fluicer PD96/F

марки разжижителя свойственен широкий интервал количества добавки (от 0,3 до 0,6 %), при котором шликер характеризуется требуемыми литьевыми параметрами.

По данным производителя ЧПУП «БелХимос», электролит Complex M (ТУ ВУ 391095455.001–2013) является комплексным разжижителем с содержанием ряда полиакрилатов различных типов [11]. Механизм разжижающего действия полиакрилатов состоит в том, что анион полимера легко адсорбируется на внешних поверхностях частиц глинистых минералов, одновременно разрывает их гидратные оболочки, обеспечивая исключительное диспергирующее действие и стабильность суспензии в течение длительного времени [12]. При этом влияние полиакрилатов на реологию суспензий зависит от длины и природы радикала.

Электролиты воздействуют на реологические характеристики не только изменением строения двойного электрического слоя, но и меняют его толщину, что ведет к сжатию или расширению диффузного слоя, т.е. уменьшению или увеличению прочности пленок, разделяющих частицы, и, соответственно, к нарушению или восстановлению коагуляции суспензии [3].

О сравнительной величине сил электростатического отталкивания при исследованиях судят по значению электрокинетического потенциала поверхности дисперсных частиц. Сжатие диффузного слоя и, соответственно, уменьшение величины электрокинетического потенциала обуславливает снижение того энергетического барьера, который мешает отдельным глинистым зернам слипаться в агрегированные частицы. Для обеспечения устойчивости шликера величина ξ -потенциала должна составлять около 50 мВ [2 – 4].

Величину электрокинетического потенциала водных суспензий определяли по скорости электрофореза. Исследования показали, что керамическая суспензия состава 21 без введения электролита имеет небольшое отрицательное значение ξ -потенциала (29 мВ), так как характеризуется относительно высоким содержанием солей в шликере, в связи с чем величина электрокинетического потенциала падает. При введении 0,3 % электролита Complex M фиксируется увеличение ξ -потенциала по абсолютной величине, равное 48 мВ, что согласуется с минимальными значениями коэффициента загустеваемости и текучести.

В водном растворе ионизированный электролит легко адсорбируется на поверхности глинистых частиц, сообщая им отрицательный заряд. Зона положительных зарядов окружает отрицательно за-

ряженную частицу. Такой двойной электрический слой заставляет частицы отталкиваться друг от друга, что поддерживает всю систему в дисперсном состоянии. Таким образом, использование оптимального количества органического электролита на основе полиакрилатов способствует дополнительному электростатическому отталкиванию и, соответственно, улучшению реологических характеристик глинистых суспензий.

Введение электролита Complex M вызывает повышение pH разработанного состава шликера от 10,55 до 10,61 за счет повышения щелочности среды при его добавлении. По требованиям нормативно-технической документации, pH разжижителя Complex M составляет 10,5 – 12,5.

Кроме текучести и низкой загустеваемости при изготовлении изделий по шликерной технологии немаловажным требованием, предъявляемым к керамическим суспензиям, является сохранение устойчивости, т.е. способности шликеров не расслаиваться и не оседать в течение определенного времени. Керамические шликеры неустойчивы в связи с наличием развитой поверхности раздела фаз и избытком свободной поверхностной энергии. Потеря устойчивости приводит к ухудшению литьевых свойств шликеров, отрицательно сказывается на однородности отливок как по плотности, так и по вещественному составу, что отражается на качестве готовой продукции.

Оценку устойчивости шликера разработанного состава проводили в соответствии с двумя методами – расслоения и разделения. Метод расслоения базируется на измерении объема слоя отделившейся связки от основной массы при ее хранении без перемешивания в течение 24 ч. Показатель устойчивости определялся как отношение объема залитого в цилиндр шликера к объему отделившейся при выстаивании связки (прозрачной жидкости). При этом шликер хорошего качества характеризуется показателем устойчивости, равным 100 – 200. Метод разделения основан на определении относительного количества содержания связки в различных по высоте слоях шликера при разделении его объема в цилиндре на две равные половины после выстаивания в течение 24 ч. Качественный шликер имеет показатель устойчивости в пределах 0,95 – 0,98.

Так, при определении устойчивости шликера на основе разработанного состава массы 21 при использовании электролита Complex M методом расслоения показатель устойчивости составляет 140, методом разделения – 0,97, что соответствует требованиям, предъявляемым к качественным суспензиям.

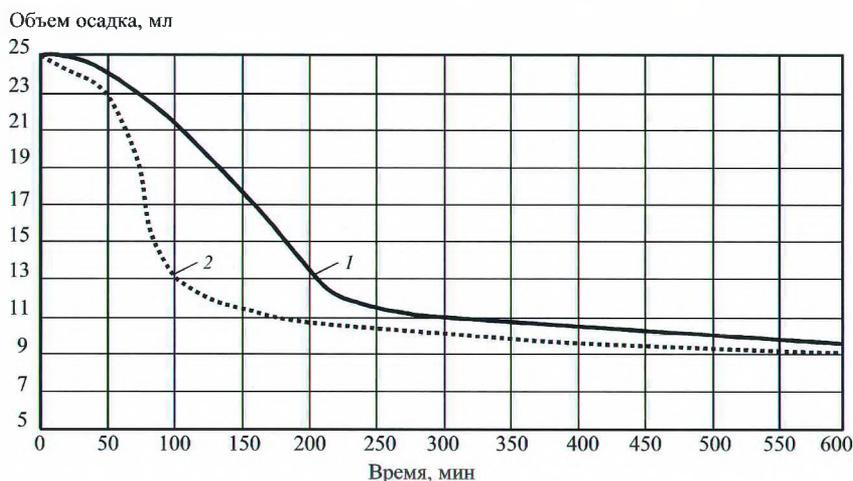


Рис. 5. Зависимость объема образующегося осадка от времени седиментации

1 – шликер с электролитом Complex M; 2 – шликер без электролита

Дополнительно изучали устойчивость шликера путем измерения образующегося с течением времени объема осадка в результате оседания частиц суспензии [7] с построением седиментационных кривых. Исследование проводили для разбавленного до влажности 90 % керамического шликера на основе разработанного состава 21 с добавкой электролита Complex M и без его введения. На основании экспериментальных данных получены зависимости объема образующегося осадка от времени, приведенные на рис. 5.

При анализе представленных зависимостей можно сделать вывод, что исследуемые керамические суспензии являются агрегативно и седиментационно неустойчивыми. В процессе оседания частиц керамического шликера образуется осадок объемом 11 мл, уплотнение которого происходит в течение 300 – 420 мин до объема 9 мл.

Частицы шликера без введения электролита взаимодействуют, образуя быстро оседающие конгломераты, основная часть частиц оседает за 100 мин с образованием рыхлого осадка объемом 13 мл. После этого осаждение происходит намного медленнее, и за 180 мин формируется осадок объемом 11 мл. Необходимо отметить, что при оседании частиц в суспензии без электролита отделение связки происходит в виде прозрачной жидкости.

Несколько иная ситуация наблюдается при введении в суспензию электролита Complex M. Оседание частиц в этом случае происходит равномерно и намного медленнее. Объем осадка 11 мл формируется только через 300 мин, что почти в 2 раза медленнее по сравнению со шликером без электролита. При образовании осадка отделившаяся

жидкость характеризуется наличием взвешенных частиц, не оседающих и через 7 дней.

Повышение устойчивости шликера при добавлении оптимального количества электролита Complex M обусловлено созданием одновременно двух факторов устойчивости – электрокинетического и адсорбционно-сольватного. Электростатический фактор обеспечен значительным увеличением электрокинетического потенциала и, соответственно, повышением сил электростатического отталкивания, действующих между частицами. Образование структурно-механического барьера на поверхности твердой фазы происходит в результате снижения сил молекулярного притяжения между частицами за счет образования адсорбционно-сольватных слоев, ослабляющих связь между ними и препятствующих агрегированию и быстрому оседанию под действием гравитационных сил.

Важными технологическими параметрами шликера являются скорость водоотдачи суспензии в гипсовую форму и, соответственно, скорость увеличения толщины набираемого слоя, определяющая время отливки изделий, а значит, и производительность конвейера. Зависимость скорости набора массы для шликера, стабилизированного электролитом Complex M, и без его введения от времени приведена на рис. 6.

Как видно из приведенных данных, процесс набора массы имеет затухающий характер за счет

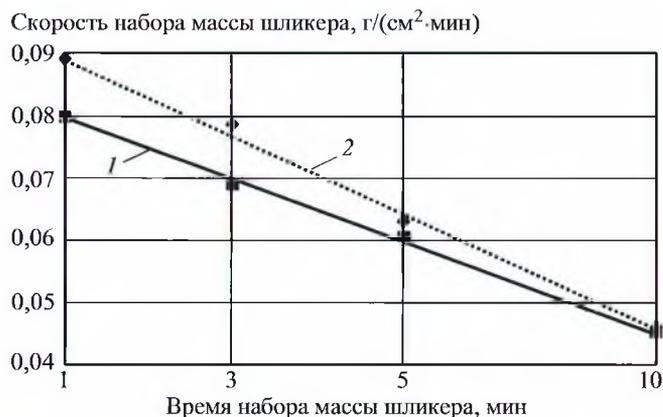


Рис. 6. Зависимость скорости набора массы шликера от времени

1 – шликер с электролитом Complex M; 2 – шликер без электролита

увеличения сопротивления фильтрации обезвоженного слоя, что выражается в снижении скорости набора массы исследуемой суспензии со временем. Для шликера без электролита скорость набора падает более интенсивно по сравнению со шликером, содержащим электролит, и находится в пределах от 0,09 до 0,047 г/(см²·мин). В стабилизированном шликере на начальных этапах процесса отливки изделий скорость набора массы меньше (до 1,1 раза), однако в этом случае скорость набора снижается меньшими темпами, и при продолжительности набора 10 мин значения этой характеристики становятся равными для двух исследованных суспензий – 0,047 г/(см²·мин). Это свидетельствует о более равномерной водоотдаче шликера в гипсовую форму при использовании указанного электролита.

Установлено, что стабилизация шликера путем введения электролита способствует более равномерной водоотдаче и, соответственно, упорядоченному процессу упаковки частиц при формировании отливок, что является предпосылкой образования более плотных полуфабрикатов. При использовании нестабилизированных глинистых суспензий упаковка частиц происходит не индивидуально, а целыми агрегатами, которые заключают в своем объеме заполненные водой пустоты, сохраняющиеся в процессе формования. После удаления влаги такие полости приводят к увеличению пористости отливок и получению разнотолщинных изделий. Кроме этого чрезмерно высокая скорость набора массы затрудняет регулирование процесса литья.

Проведенные исследования реологических характеристик шликерных суспензий для термостойкой литийалюмосиликатной керамики показали, что, несмотря на разжижающее действие малорастворимого карбоната лития в керамическом шликере, без дополнительного использования электролитов не удастся получить суспензии с приемлемыми литьевыми параметрами. Это связано как с повышенным содержанием глинистых компонентов в массах, так и с превышением концентрации Li₂CO₃ сверх оптимальной, что вызывает наряду с процессами, обуславливающими перевод связанной воды в свободную, процессы обратного характера.

Установлено, что как раздельное введение электролитов (кальцинированная сода, жидкое стекло, триполифосфат натрия, углещелочной реагент), так и их комбинаций в шликер оптимального

состава 21 не оказывает на него требуемого разжижающего воздействия. При исследовании влияния электролитов различных типов – Terrablend (Франция), Complex M (Беларусь), Fluimis FL70, Fluicer PD96/F, Hydrocer LC (Италия) – в качестве оптимального по комплексу свойств (текучесть 7 – 9 с, коэффициент загустеваемости 1,2 – 1,3, ξ-потенциал 48 мВ) и экономическим соображениям выбран разжижитель Complex M на основе полиакрилатов различного типа в количестве 0,3 % (сверх 100 %).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кичкайло О. В., Левицкий И. А. Интенсификация спекания термостойкой керамики на основе системы Li₂O–Al₂O₃–SiO₂ // Огнеупоры и техническая керамика. 2015. № 10. С. 3 – 13.
2. Кривоносова Н. Т., Черепко А. И. Совершенствование производства санитарных керамических изделий. Запорожье: Дикое Поле, 2008. 346 с.
3. Добровольский А. Г. Шликерное литье. М.: Metallurgia, 1977. 240 с.
4. Lapasin R., Gardini D., Galassi C. et al. Rheology applied to ceramics (theory and practice). Modena, 2006. 473 p.
5. Погребенков В. М., Седельникова М. Б. Определение свойств шликерных масс. Томск: Изд-во ТПУ, 2009. 28 с.
6. Химия: большой энциклопедический словарь / под ред. И. Л. Кнунянца. М.: Бол. рос. энцикл., 1998. 790 с.
7. Шукин Е. Д., Перцов А. В., Амелина Е. А. Коллоидная химия. М.: Высш. шк., 2004. 445 с.
8. Шаповалов Н. А., Слюсарь А. А., Слюсарь О. А. и др. Разжижение керамического шликера комплексными добавками // Стекло и керамика. 2005. № 8. С. 24 – 25. [Shapovalov N. A., Slyusar A. A., Slyusar O. A. et al. Dilution of ceramic slip using complex additives // Glass and Ceram. 2005. V. 62. N 7. P. 253 – 254.]
9. Слюсарь А. А., Слюсарь О. А., Здоренко Н. М. Комплексные разжижающие добавки для керамических шликеров // Стекло и керамика. 2009. № 8. С. 29 – 30. [Slyusar A. A., Slyusar O. A., Zdorenko N. M. Complex thinning additions for ceramic slips // Glass and Ceram. 2009. V. 66. N 7/8. P. 297.]
10. Пивинский Ю. Е. Реология в технологии керамики и огнеупоров. Основные положения и реологические модели // Огнеупоры. 1994. № 3. С. 7 – 15.
11. Комплексные разжижители шликеров [Электронный ресурс] // БелХимос. URL: <http://belhimos.by/himiya-dlya-proizvodstva-keramiki/razzhizhiteli/kompleksnye-razzhizhiteli-shlikerov>. Дата доступа: 04.12.2016.
12. Слюсарь А. А., Слюсарь О. А., Здоренко Н. М. Регулирование коллоидно-химических свойств каолиновых и глинистых суспензий комплексными добавками // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Сер. Естественные науки. 2011. Т. 15. № 9. С. 114 – 121.