

Я. А. Журавлёв, А. О. Овчинникова (✉), к. т. н. Е. А. Усольцев,
д. т. н. Е. Л. Фурман, к. т. н. И. Е. Фурман

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет»,
Екатеринбург, Россия

УДК 541.8:[666.192.2:53.072.4

ПОВЕРХНОСТНЫЕ СВОЙСТВА СУСПЕНЗИЙ НА ОСНОВЕ ПЛАВЛЕНОГО КВАРЦА

Приведены результаты исследований поверхностных свойств суспензий для изготовления литейных форм, применяемых при литье по выплавляемым моделям. Представлены краевые углы смачивания суспензий разных модельных составов и поверхностное натяжение суспензии при использовании разных связующих. Сделаны выводы, касающиеся выбора рецептуры суспензии для изготовления керамической оболочки.

Ключевые слова: литье по выплавляемым моделям (ЛВМ), плавленный кварц, модельный состав (МС), керамическая оболочка (КО), огнеупорный наполнитель, поверхностное натяжение, краевой угол смачивания.

Литье по выплавляемым моделям (ЛВМ) — один из самых дорогих и трудоемких способов литья, позволяющий получать отливки высокой точности и с низкой шероховатостью. Литье производится в неразъемную керамическую форму, получаемую нанесением покрытия на модель, изготовленную из легкоплавких материалов (парафина, воска, пластика и т. д.). Количество слоев в керамической оболочке (КО) зависит от объема заливаемого металла и требований к отливке.

Нанесение каждого керамического слоя происходит окунанием модели в суспензию, состоящую из связующего и мелкодисперсного огнеупорного наполнителя (до 45 мкм), с последующей обсыпкой тем же наполнителем, но более крупной фракции (0,125–0,4 мм). Затем необходима сушка, которая занимает в зависимости от толщины слоя и вида связующего от 5 до 240 мин и повторяется до получения необходимого коли-

чества слоев (от 4 до 40). Далее легкоплавкая модель удаляется в кипящей воде или с помощью пара, а оболочка прокаливается в печи при 600–800 °С для полного удаления остатков модельного состава (МС) из формы. Качество поверхности отливок, получаемых методом ЛВМ, зависит в основном от капиллярного взаимодействия суспензии с поверхностью модели и обсыпочно-го материала.

В последнее время на отечественном рынке появилось большое количество новых МС, связующих для приготовления суспензии, в том числе водных связующих, являющихся экологичной заменой гидролизованного этилсиликата, который готовят непосредственно в литейных цехах или используют готовое связующее типа ГС-20 (см. таблицу).

Кроме того, в связи с возрастающими требованиями к качеству и условиям отливки изделий из сплавов специального назначения

Характеристика связующих [1]

Показатели*	Армосил К	Армосил SR	Сиалит-20	Силарм	Keycote	Matrixcote	ГС-20
Внешний вид	Жидкость слабо-желтого или серого цвета без видимых механических примесей и включений		Вязкая жидкость от желтого цвета до коричневого	Жидкость серого цвета	Полупрозрачная жидкость белого цвета		Бесцветная или желто-коричневая жидкость
Массовая доля SiO ₂ , %	24–27	39–41	20–22	23	31	26,7	17–21
Плотность, г/см ³	1,168–1,182	1,296–1,310	1,133–1,135	1,17–1,20	1,203	1,156	0,95
pH	3,3–4,5	10–11	9,5–10,5	9,5	7,5	10,6	6–7

* Кинематическая вязкость всех связующих одинакова и составляет не более 10 сСт.



А. О. Овчинникова
E-mail: alisa.ovchinnikova@urfu.ru

сложной геометрической формы повышаются требования к огнеупорному наполнителю, поскольку природный кварц уже не удовлетворяет современным требованиям. Поэтому широкое распространение получил огнеупорный наполнитель в виде плавленного кварцевого стекла. В

отличие от природного кварца оно не подвержено полиморфным превращениям, имеет низкие ТКЛР и теплопроводность, что позволяет устранить появление большого количества дефектов. В этой связи актуальным является изучение поверхностных свойств суспензий для изготовления форм точного литья, а именно их поверхностного натяжения, смачивания и растекания по поверхности модельных масс и частиц армирующих огнеупоров.

Сейчас в России имеется несколько крупных поставщиков плавленного кварца: ООО «Родонит» (Санкт-Петербург), ООО «Кефрон» (Екатеринбург), ОАО «Динур» (г. Первоуральск). Продукция этих поставщиков была использована для проведения экспериментов. Различия получаемых данных при измерении поверхностного натяжения составляли всего 1–2 %, что является погрешностью при измерении.

Для получения КО, в частности первого слоя, определяющего качество отпечатка, требуется обеспечить минимальный (желательно, менее 50 град) краевой угол смачивания суспензии к поверхности модели. В настоящей работе исследовали краевые углы смачивания суспензией МС и поверхностное натяжение суспензии при использовании разных связующих.

Поверхностное натяжение суспензий, используемых в литейном производстве, изучено слабо. Например, авторы публикации [2] при измерении поверхностного натяжения водной суспензии на основе бентонита обнаружили резкое снижение и последующее увеличение поверхностного натяжения, которое, по всей видимости, происходило в результате слабого химического взаимодействия между бентонитом и водой. В работе В. М. Витюгина такого эффекта не наблюдалось, зато был отмечен рост поверхностного натяжения в некотором интервале концентраций твердой фазы [3]. Таким образом, полученные данные противоречат друг другу.

Существует множество способов измерения поверхностного натяжения. В нашем эксперименте сравнивали два метода: метод максимального давления газа в пузырьке и метод Вильгельми. При использовании метода отрыва пластины Вильгельми в момент времени, когда краевой угол смачивания становится большим, появляется расхождение с результатами измерения методом максимального давления газа в пузырьке. Появление такой неточности было описано М. К. Адамом [4]. Результаты измерения поверхностного натяжения суспензии методом максимального давления газа в пузырьке показаны на рис. 1. Видно, что поверхностное натяжение суспензий не изменяется с увеличением количества твердой фазы и зависит только от природы связующего. Это подтверждается результатами исследований [5] и несколько расходится с выводами других авторов [6–8]. Вероятно, при увеличении доли твердой фазы в суспензии на поверхности формируется тонкая пленка из связующего компонента, которая и определяет поверхностное натяжение суспензии в целом.

Смачивание поверхности подложек для разных связующих и модельных масс оценивали по равновесному краевому углу смачивания θ , измеряемому методом лежащей капли (рис. 2). Измерения были проведены на разных МС, как на ювелирных (Castaldo Green Color), так и на литейных, таких как ПС50-50 (композиция: парафин 50 %, стеарин 50 %) и МВС-3А [9, 10].

Краевой угол смачивания θ измеряли на чистых связующих кремнезолей с разными растворителями и суспензиями на их основе. Установлено, что при повышении содержания огнеупорного наполнителя до 2,0 кг/л, обеспечивающего рабочую вязкость суспензии от 40 до 75–80 с (воронка ВЗ-4), θ увеличивается (рис. 3). Видно, что на участке с концентрацией твердой фазы, необходимой для создания суспензии

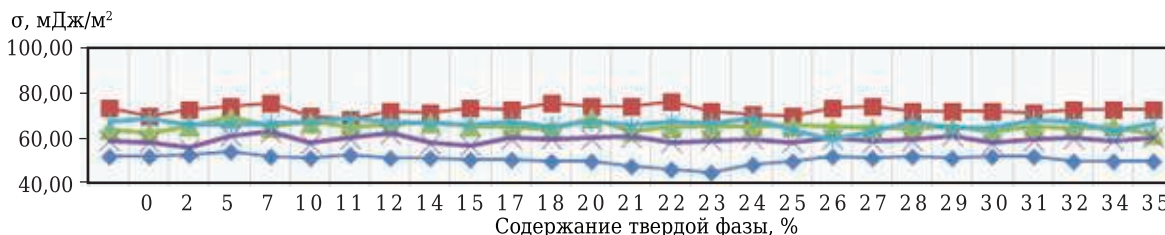


Рис. 1. Зависимость поверхностного натяжения σ суспензии от содержания в ней связующего: ■ — ГС-20; ■ — Ludox-SK; ■ — Армосил-К; ■ — CH-100; ■ — Remasol

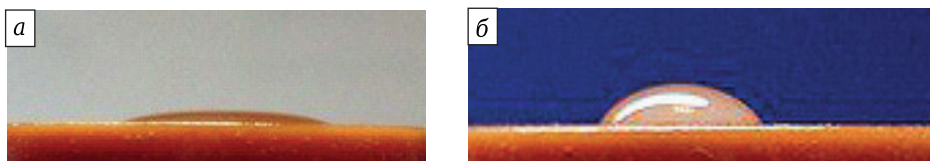


Рис. 2. Схемы для определения θ : а — гидролизированный ЭТС на ПС50-50; б — связующее Армосил на ПС50-50 [9]

ЛВМ (от 30 %), при использовании разных МС наблюдается различие в θ приблизительно 5 град, что можно объяснить неодинаковым химическим составом воска. Кроме того, θ растет с увеличением содержания твердой фазы в суспензии; при достижении некоторой концентрации твердой фазы в суспензии θ перестает расти. Поверхностное натяжение остается неизменным, хотя краевой угол смачивания является функцией поверхностного натяжения. Возникает вопрос: почему у суспензий по мере увеличения содержания твердой фазы растет краевой угол смачивания? На основании полученных данных можно сделать следующий вывод: на формирование краевого угла смачивания суспензии влияют частицы твердой фазы, механически сдерживающие продвижение жидкости в процессе растекания. Таким образом, процесс растекания суспензии существенно отличается от процесса растекания «прозрачной» жидкости и состоит из нескольких этапов.

Для исследования движения периметра смачивания жидкостей с малыми краевыми углами смачивания по отношению к подложке хорошо подходит съемка сверху. В процессе исследования растекания суспензии по поверхности подложки при съемке капли сверху наблюдалось несколько этапов: момент касания суспензией подложки и формирование капли; растекание капли суспензии и формирование кажущегося краевого угла смачивания; продвижение периметра смачивания сквозь конгломерат частиц; формирование истинного краевого угла смачивания «прозрачной» жидкостью.

Связующее (в данном случае гидролизированный ЭТС) продолжает растекаться, так как имеет небольшой краевой угол смачивания подложки. Получается, что суспензия разделяется на две составляющие: наполнитель, который в данном случае представляет собой пористое тело, и связующее, которое фильтруется сквозь пористое тело. Это явление показано на рис. 4 на примере смачивания подложки суспензией.

Таким образом, при разработке технологии изготовления отливок методом ЛВМ и выборе рецептуры приготовления суспензии необходимо ориентироваться на краевой угол смачивания МС связующим без добавки наполнителя, так как краевой угол, сформированный суспензией, является суммарной характеристикой вязкого течения и механического торможения жидкости путем формирования «пробки» по границе раздела фаз. Если подобрать связующее, изначально обладающее большим краевым углом смачивания МС, то при добавке огнеупорного наполнителя есть риск получить брак из-за неплотного первого слоя в результате недостаточной адгезии первого слоя оболочки к МС и последующим слоям. Это приведет к искажению геометрии отливок и появлению засоров.

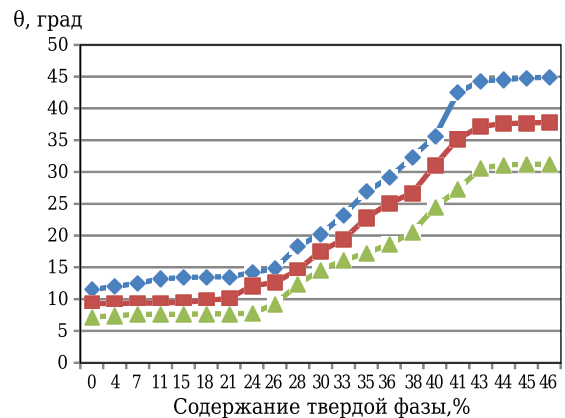


Рис. 3. Зависимость θ от концентрации твердой фазы в суспензии: $\diamond$ — суспензия на ПС 50/50; $\blacksquare$ — суспензия на МВС-3А; $\blacktriangle$ — суспензия на Green Color

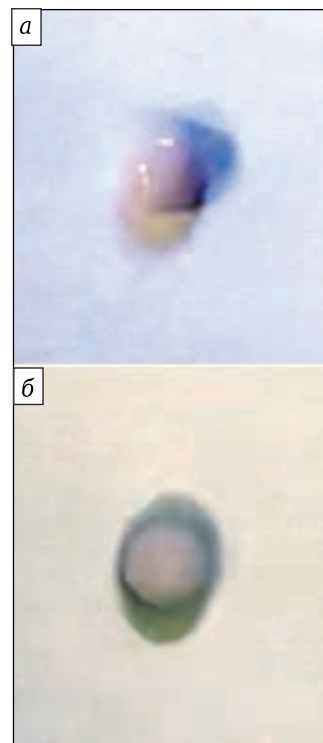


Рис. 4. Смачивание суспензией подложки: а — вид сверху на каплю в начальный момент времени; б — то же после формирования краевого угла смачивания

Библиографический список

1. Научно-технический центр «Компас» [Электронный ресурс]. — URL: <http://www.compass-kazan.ru/armosil.php>.
2. Дадашев, Р. Х. Методика измерения поверхностного натяжения суспензии бентонитов / Р. Х. Дадашев, Р. С. Джамбулатов, Д. З. Элимханов, И. Н. Дадашев // Журнал физической химии. — 2020. — Т. 94, № 7. — С. 1114–1118.
3. Витюгин, В. М. Исследование влияния концентрации бентонитовых суспензий на поверхностное натяжение и реологические свойства / В. М. Витюгин, О. А. Фукс, Т. Н. Сомова // Изв. Томского политех. ин-та им. С. М. Кирова. — 1977. — Т. 214. — С. 106–108.

4. **Адам, Н. К.** Физика и химия поверхностей / Н. К. Адам. — М. : Гостехиздат, 1947. — 552 с.

5. **Адамсон, А. В.** Физическая химия поверхностей / А. В. Адамсон. — М. : Химия, 1979. — 568 с.

6. **Gavin, D.** An analysis into surface tension — the missing link to a good prime coat? / D. Gavin // EICF European Casting Conference, Porto, 2018.

7. **Мартынов, К. В.** Керамические формы на кремнезольном связующем для литья по выплавляемым моделям : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.16.04 / Мартынов Константин Викторович. — СПб., 2005. — 18 с.

8. **Казанцев, С. П.** Эффективность использования связующих для ЛВМ / С. П. Казанцев, А. О. Овчинникова, Е. Д. Потапова, И. Е. Фурман // Литейное производство. — 2020. — № 10. — С. 11–16.

9. **Озеров, В. А.** Литье по выплавляемым моделям / В. А. Озеров, С. С. Фельдман, Я. И. Шкленник. — М. : Машгиз, 1958. — 321 с.

10. Модельно-восковой состав МВС-3А [Электронный ресурс]. — URL : <https://scproduct.ru/mvs-3a.html>. ■

Получено 21.10.21

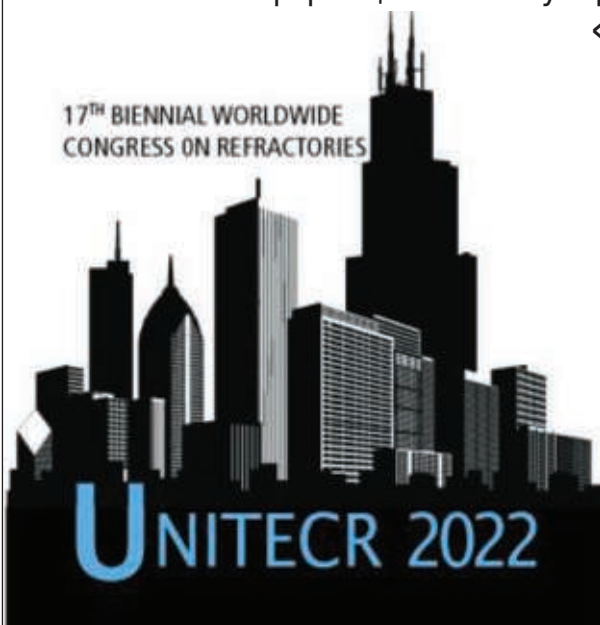
© Я. А. Журавлёв, А. О. Овчинникова,
Е. А. Усольцев, Е. Л. Фурман, И. Е. Фурман, 2022 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

UNITECR 2022 — 17-й всемирный конгресс и объединенная международная техническая конференция по огнеупорам

«Огнеупоры как глобальная отрасль»

15–18 марта 2022 г.
Чикаго, США



Тезисы докладов принимаются по основным темам:

- Огнеупоры:
 - для черной металлургии
 - для стекольной промышленности
 - для цветной металлургии
 - для цементной промышленности
 - для нефтехимических процессов
 - для сжигания отходов
- Сырье
- Экологическая устойчивость и переработка
- Достижения в области производства, установок и оборудования
- Огнеупорные инженерные системы и дизайн
- Новые разработки
- Базовая наука
- Энергосбережение и изоляция
- Тестирование огнеупоров
- Образование
- Применение промышленных огнеупоров
- Кооперация среди клиентов, производителей и исследователей

ceramics.org