

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

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет»,
Екатеринбург, Россия

УДК 549.514.51:53.072.4]:621.74.045

ВЯЗКОСТЬ СУСПЕНЗИЙ ИЗ ПЛАВЛЕНОГО КВАРЦА ДЛЯ ЛИТЬЯ ПО ВЫПЛАВЛЯЕМЫМ МОДЕЛЯМ

Проведено исследование вязкости суспензий, применяемых при литье по выплавляемым моделям, как одного из самых важных свойств. Представлены результаты измерений вязкости суспензии на основе этилсиликата и плавленного кварца разных фирм-производителей. В ходе работы сделаны выводы о необходимости проведения входного контроля суспензий на литейных предприятиях.

Ключевые слова: литье по выплавляемым моделям (ЛВМ), плавленный кварц, вязкость суспензий, огнеупорный наполнитель, гранулометрический состав.

Один из распространенных методов литья, позволяющих получать тонкостенные отливки высокой точности практически из любых сплавов с минимальным припуском на механическую обработку, — метод литья по выплавляемым моделям (ЛВМ) [1]. Этот метод характеризуется длинной технологической цепочкой создания литейной формы, которая состоит из циклических процессов окунания в суспензию и обсыпания восковой модели армирующим наполнителем послойно [2]. Всего на модельном блоке наращивается от 4 до 20 слоев в зависимости от массы отливки. Этот процесс чувствителен к таким факторам, как условия смачивания поверхности модели суспензией и ее вязкость.

В настоящее время при ЛВМ используются синтетические формообразующие материалы, обладающие низким ТКЛР и повышенной инертностью к расплаву металла. Один из самых распространенных синтетических материалов, используемых при ЛВМ для изготовления формы, является плавленный кварц, представленный на российском рынке предприятиями «Родонит» (Санкт-Петербург) [3], «Кефрон» (Екатеринбург) [4], «Динур» (г. Первоуральск) [5].

В настоящей работе изучена вязкость суспензии на основе этилсиликата (ЭТС-40) и плавленного кварца. Вязкость суспензии должна нахо-

диться в таком интервале, чтобы она не стекала с модели и в то же время хорошо растекалась по ее поверхности для получения однородного слоя [2]. Для измерения вязкости суспензии на производстве обычно используется воронка Форда ВЗ-4 [6]. Чтобы измерения были приближены к условиям производства, при исследовании был использован этот же прибор.

На рис. 1 показаны результаты измерений вязкости суспензии на основе ЭТС-40 и плав-

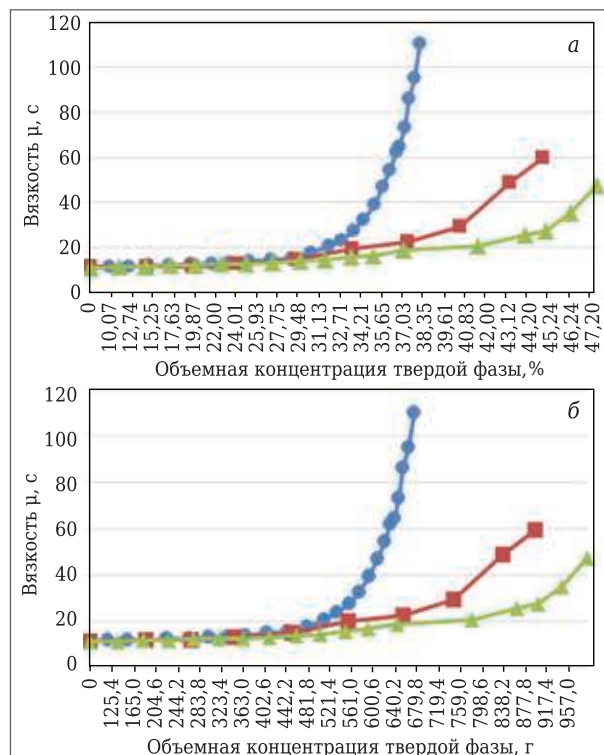


Рис. 1. Зависимость вязкости суспензии от количества в ней твердой фазы — плавленного кварца разных производителей: ● — ООО «Родонит»; ■ — ООО «Кефрон»; ▲ — АО «Динур»

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

ленного кварца. Видно, что для получения одних и тех же показателей вязкости суспензии необходимо использовать разное количество наполнителя. Если сравнивать показатели по расходу плавленного кварца производства «Родонит» и «Динур», то различие практически в 2 раза. Это значит, что для получения суспензии вязкостью 40 с необходимо затратить соответственно 590 и 970 г плавленного кварца, что может сильно удорожить производство литейной формы.

Анализ гранулометрического состава, выполненный на лазерном дифракционном анализаторе SALD-2201 (Shimadzu), показал, что доля мелких фракций в плавленном кварце производства «Динур» значительно больше, чем в плавленном кварце производства «Родонит» (рис. 2).

Это приводит к росту суммарной удельной поверхности частиц плавленного кварца производства «Динур», а следовательно, и к значительной разнице в вязкости суспензий из плавленного кварца производства «Динур» и «Родонит».

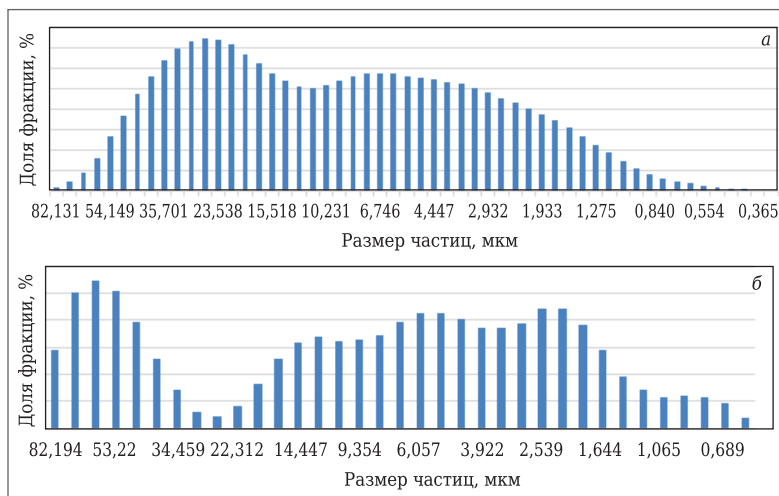


Рис. 2. Гранулометрический состав порошков плавленного кварца производства «Родонит» (а) и «Динур» (б)

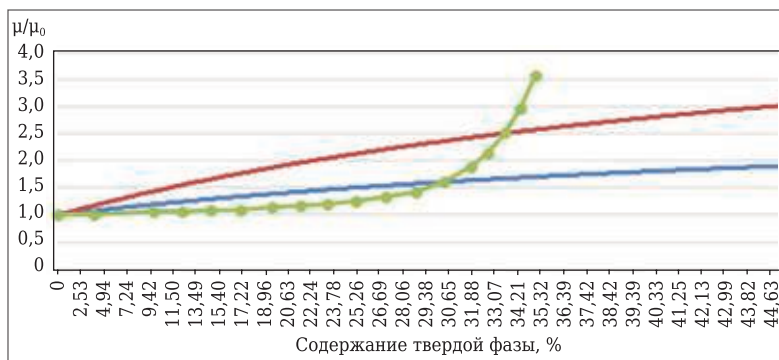


Рис. 3. Сравнение расчетной вязкости суспензии (—, —) с экспериментальной (●) по уравнению Джеффри для вытянутых сфероидов с $\nu = 2,010$ (—) и $\nu = 4,485$ (—)

Графики зависимости вязкости суспензии от объемной концентрации твердой фазы имеют сложный характер и состоят из линейных и экспоненциальных отрезков кривых (см. рис. 1). Это значит, что при введении твердой фазы в связующее вязкость суспензии будет резко расти только после достижения определенной концентрации. До концентрации 28–30 % для всех порошков график зависимости вязкости суспензии от объемной концентрации твердой фазы достаточно хорошо описывается уравнением Эйнштейна [7]:

$$\mu = \mu_0 (1 + k\varphi), \quad (1)$$

где μ — вязкость системы; μ_0 — вязкость чистого растворителя; k — коэффициент, характеризующий форму частиц; φ — объемная доля частиц дисперсной фазы.

Величина k , согласно Эйнштейну, варьируется в диапазоне от 1 до 2,5. Близкие значения вязкости неплохо описываются также уравнением Джеффри (2), которое во многом схоже с уравнением (1), но применимо к частицам в форме сфероидов (рис. 3):

$$\mu/\mu_0 = 1 + \nu\varphi, \quad (2)$$

где ν — множитель, зависящий от геометрии сфероида.

Как видно из рис. 1 и 3, при концентрации твердой фазы более 25 % уравнения Эйнштейна (1) и Джеффри (2) не работают, что, по-видимому, связано с взаимодействием между частицами, обладающими сложной осколочной формой. Чтобы определить форму зерен, был проведен анализ порошков плавленного кварца, используемых при создании суспензии, с помощью электронного растрового микроскопа высокого разрешения Scios 2 LoVac фирмы Thermo Fisher (рис. 4). Как видно из рис. 4, частицы плавленного кварца всех производителей далеки от шарообразной формы, заложенной в уравнении Эйнштейна (1) и сфероидов в уравнении Джеффри (2). Однако при низкой концентрации частиц, когда отсутствует взаимодействие между ними, это незначительно сказывается на разнице между расчетными и экспериментальными значениями. При высоких концентрациях частиц (> 25 %) влияние формы частиц на вязкость суспензии, как видно из рис. 1, становится более существенным. Это объясняется, по-видимому, взаимодействием

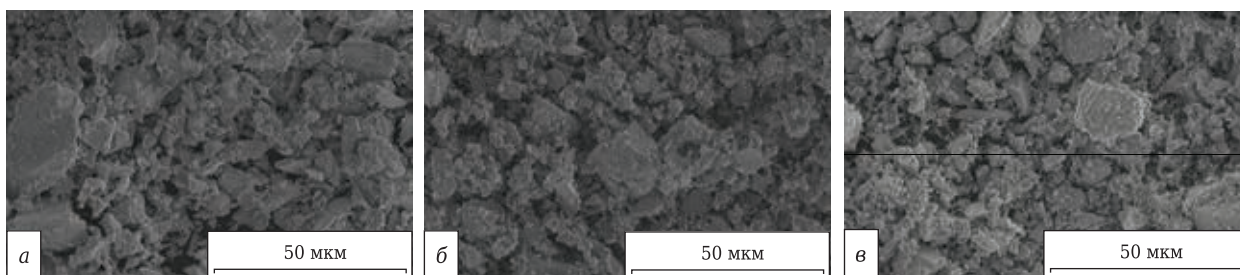


Рис. 4. Плавный кварц производства «Родонит» (а), «Кефрон» (б) и «Динур» (в)

частиц между собой, которое, в свою очередь, зависит от их конфигурации и удельной поверхности.

Попытки рассчитать вязкость суспензии с учетом взаимодействия частиц по уравнениям Дж. Хаппеля (3), предложенным в публикации [8], не позволили получить близкие совпадения опытных и расчетных значений (рис. 5), так как в теории Хаппеля заложены простые формы частиц суспензии, близкие к шару:

$$\mu / \mu_0 = 1 + 5,5\psi\phi, \quad (3)$$

где ψ — фактор взаимодействия.

Поэтому для суспензий при ЛВМ в случае использования плавного кварца разных производителей в обязательном порядке необходимо проводить входной контроль, в котором главную роль должны играть определение вязкости суспензии, а затем выбор концентрации суспензии для тех или иных целей. К сожалению, в литейных цехах такой контроль практически не

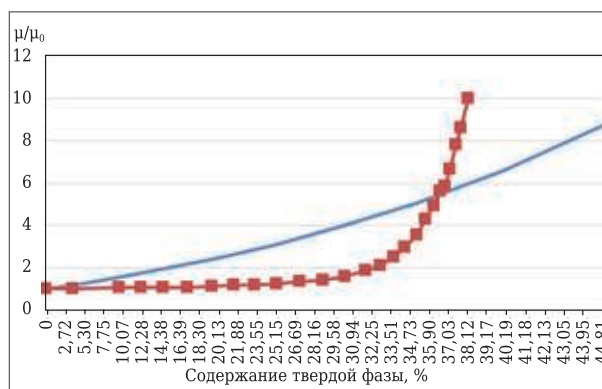


Рис. 5. Сравнение расчетной вязкости суспензии (—) и экспериментальной (■) по уравнению Дж. Хаппеля

применяется и при смене производителя плавного кварца (что часто происходит в нынешней ситуации) может привести к большому количеству брака отливок из-за нестабильности литейной формы.

Библиографический список

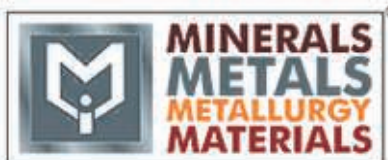
1. Дошкарж, И. Производство точных отливок : пер. с чеш. / И. Дошкарж, М. Гоушть, М. Павелка. — М. : Машиностроение, 1979. — 296 с.
2. Озеров, В. А. Литье по выплавляемым моделям / В. А. Озеров, С. С. Фельдман, Я. И. Шкленник. — М. : Машгиз, 1958. — 321 с.
3. Плавный кварц фирмы ООО «Родонит» [Электронный ресурс]. — URL: <http://www.rodonit.spb.ru/materialy/plavlenyj-kvarts.html>.
4. Плавный кварц фирмы ООО «Кефрон» [Электронный ресурс]. — URL: http://www.kefron.ru/plavlennyj_kvarc.
5. ОАО «Первоуральский динасовый завод» [Электронный ресурс]. — URL: <http://www.dinur.ru/>.
6. ГОСТ 9070–75. Вискозиметры для определения условной вязкости лакокрасочных материалов. — М. : Изд-во стандартов, 1975. — 11 с.
7. Einstein, A. Über die von der molekularkinetischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen / A. Einstein // Annalen der Physik. — 1905. — Bd 322, № 8. — S. 549–560.
8. Хаппель, Дж. Гидродинамика при малых числах Рейнольдса / Дж. Хаппель, Г. Бреннер. — М. : Мир, 1976. — 630 с. ■

Получено 28.03.22

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

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Международная выставка ММММ 2022 минерального сырья, металлов, металлургии, металлообработки в Дели, Индия



13th International Exhibition and Conference on Minerals, Metals, Metallurgy & Materials

25–27 августа 2022 г.

Нью-Дели, Индия

<http://mmmm-expo.com/en-GB>