

В. А. Довыденков, О. С. Зверева, С. Я. Алибеков,
Р. С. Сальманов

ВЛИЯНИЕ ВИДА СЫРЬЯ НА ДИНАМИЧЕСКУЮ ВЯЗКОСТЬ КОМПОЗИЦИЙ ИЗ ПОРОШКОВ МЕТАЛЛОВ, ИХ ОКСИДОВ И СВЯЗУЮЩЕГО

Ключевые слова: динамическая вязкость, высоконаполненные композиции, металлические порошки, полимерное связующее.

Выполнены экспериментальные и теоретические исследования динамической вязкости композиций из порошков металлов, их оксидов и связующего. Показаны методы регулирования и оптимизации вязкости высоконаполненных композиций с твердой фазой, состоящей из двух компонентов.

Keywords: dynamic viscosity, highly filled compositions, metal powders, polymer binder.

The experimental and theoretical research of the dynamic viscosity the compositions of the powders metals, their oxides and binder is made. Showing methods of regulating and optimizing the viscosity of highly filled composites with a solid phase, consisting of two components.

При получении стальных заготовок сложной геометрической формы технологиями, основанными на формовании композиций из порошков металлов и связующего, реологические свойства композиций оказывают большое влияние на качество сформованных изделий и их размерную точность после спекания. Основным требованием при формовании композиций из порошков металлов, их оксидов и связующего, является то, что смесь должна иметь достаточно низкую вязкость при максимально возможной степени наполнения композиций твердой фазой, поскольку в этом случае становится возможным обеспечить геометрическую сложность и однородность формируемых металлозаготовок, уменьшить усадку и коробление заготовок при спекании и, соответственно, увеличить размерную точность. Оптимизация свойств композиций осуществляется путем подбора вида связующего, имеющего заданные свойства и оптимизации состава порошковой составляющей с точки зрения размера частиц и их формы. Существенным фактором, влияющим на вязкость смеси является степень наполнения композиции твердой фазой, и чем она выше, тем выше вязкость сырья. Наполнение твердой фракцией достигает критического значения, когда относительная вязкость начинает приближаться к бесконечному значению.

В настоящей работе исследовалось влияние дисперсности компонентов, их химической природы и их объемного содержания в композиции на относительную величину динамической вязкости композиций.

В качестве исходных материалов для получения композиций использовались:

- порошок железный марки ПЖРВ 3.200.28, средний размер частиц 105 мкм;
- порошок железный марки А100S, средний размер частиц 75 мкм;
- порошок железный карбонильный марки НС, средний размер частиц 3,56 мкм;
- порошок железа (II) окись, Ч, средний размер частиц 1,87 мкм;
- смола фенолформальдегидная (ФФС) жидкая, марки СФЖ-3031, ГОСТ 20907-75

Из исходных материалов в смесителе миксерного типа изготавливались композиции, в которых твердая фаза состояла из одного или двух компонентов с различным их объемным содержанием. Измерения динамической вязкости композиций осуществлялись на вибровязкозиметре серии SV-100 путём измерения силы электрического тока, необходимого для резонанса двух сенсорных пластин при постоянной частоте 30 Гц и амплитуде менее 1 мм. Измерения вязкости производились по ГОСТ 20907-75 при температуре $T = 20,0 \pm 0,2^\circ\text{C}$.

На рисунке 1 приведены экспериментальные кривые зависимости величины относительной динамической вязкости ($\frac{\eta_k}{\eta}$) от величины объемного содержания твердой фазы (γ). На этом же рисунке приведены расчетные кривые зависимости величины $\frac{\eta_k}{\eta}$ от γ_1 . Для построения расчетных кривых использовались аналитические выражения, полученные на основе модели вязкого деформирования композиций, изложенной в работе [1]. Вязкость композиций, в которых твердая фаза состоит из одного монодисперсного компонента рассчитывается согласно выражения (1):

$$\frac{\eta_k}{\eta} = \frac{A_1}{1 - \left(\frac{\gamma_1}{\gamma_{k1}} \right)^{\frac{1}{3}}}, \quad (1)$$

где η_k – динамическая вязкость композиции в целом; η – динамическая вязкость ФФС; γ_1 – объемное содержание твердой фазы; γ_{k1} – критическое объемное содержание твердой фазы, при котором композиция теряет текучесть; A_1 – постоянный коэффициент, определяемый экспериментально.

Значения величин A_1 определялось из решения системы уравнений в левой части которой расположены экспериментальные данные величин $\frac{\eta_k}{\eta}$ в правой – величины γ_1 , заданные в процессе

эксперимента ($\gamma_1 = 0,2$; крайнее определенное значение) и значение γ_{k1} , определенное методом экструзии «сырой» смеси через щелевую фильеру. В таблице 1 приведены расчетные значения величины A_1 и значение γ_{k1} для различных видов компонентов твердой фазы.

Таблица 1 - Значения величин A_1 и γ_{k1} для однокомпонентных композиций с различным видом твердой фазы (наполнителя)

Наполнитель	A_1	γ_{k1}
FeO	3,5	0,66
НС	2,0	0,64
A100S	1,5	0,54
ПЖРВ	1,5	0,54

На рис. 1 и 2 приведены кривые зависимости величины относительной динамической вязкости ($\frac{\eta_k}{\eta}$) от величины

объемного содержания твердой фазы (γ_1) при различных видах наполнителя.

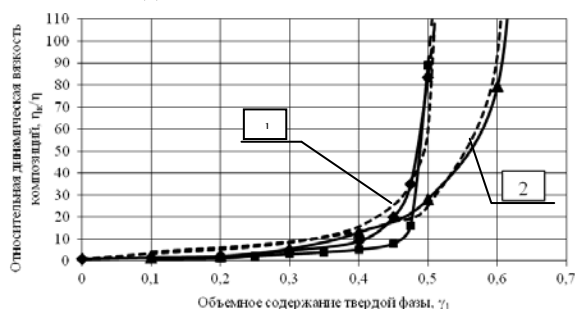


Рис. 1 – Относительная динамическая вязкость композиций из порошка железного и фенолформальдегидной смолы:

- ◆ – экспериментальная кривая наполнитель ПЖРВ 3.200.28;
- – экспериментальная кривая наполнитель А100S;
- ▲ – экспериментальная кривая наполнитель НС;
- – расчетные кривые:
- 1 – расчетная кривая относительной динамической вязкости композиций из порошка железного ПЖРВ 3.200.28, А100S и фенолформальдегидной смолы;
- 2 – расчетная кривая относительной динамической вязкости композиций из порошка железного НС и фенолформальдегидной смолы

Как следует из приведенных данных для композиций, в которых твердая фаза состоит из одного компонента, экспериментальные и расчетные кривые практически совпадают. Это подтверждает адекватность модели, разработанной для расчета динамической вязкости [1]. Таким образом, используя предложенный метод можно рассчитать вязкость композиций во всем интервале

изменения объемного содержания твердой фазы, проводя при этом всего два измерения вязкости при двух значениях величины γ_1 и определить значения величин A_1 и γ_{k1} в уравнении (1).

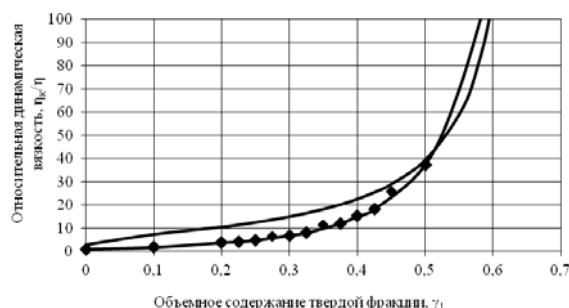


Рис. 2 – Относительная динамическая вязкость композиций из оксида железа FeO и фенолформальдегидной смолы:

- ◆ – экспериментальная кривая;
- – расчетная кривая

Далее рассмотрим композиции, в которых твердая фаза состоит из двух компонентов. Очевидно, что для таких систем проблема сокращения числа измерений для выявления полной картины изменения динамической вязкости еще более актуальна, чем для однокомпонентных композиций. Наиболее просто эта задача решается для систем, в которых каждый из компонентов твердой фазы имеет размеры существенно (на порядок) отличающиеся от размеров частиц других наполнителей. Пусть твердая фаза состоит из двух компонентов K_1 и K_2 , причем размер частиц K_1 на порядок выше размера частиц K_2 . Тогда систему ФФС+ K_2 можно считать связующим для компонента K_1 , имеющим относительную вязкость, которую можно рассчитать по уравнению (1). Обозначим объемное содержание компонента K_1 в композиции в целом через γ_1 , а объемное содержание компонента K_2 в композиции ФФС + K_2 через γ_2 , тогда относительная динамическая вязкость композиции описывается уравнением (2), как это показано в работе [2].

$$\frac{\eta_k}{\eta} = \frac{A_1 \times A_2 \times A_3}{\left[1 - \left(\frac{\gamma_1}{\gamma_{k1}}\right)^{\frac{1}{3}}\right] \cdot \left[1 - \left(\frac{\gamma_2}{\gamma_{k2}}\right)^{\frac{1}{3}}\right]}, \quad (2)$$

где γ_1 – объемное содержание наполнителя №1 в композиции в целом; γ_2 – объемное содержание наполнителя № 2 в системе «наполнитель №2 – связующее»; γ_{k1} и γ_{k2} – критические объемные содержания наполнителя №1 и №2, соответственно; A_1 и A_2 – постоянные коэффициенты, определяемые экспериментально для однокомпонентных композиций K_1 и K_2 (табл. 1); A_3 – коэффициент, определяемый экспериментально из кривой вязкости композиций, содержащей два наполнителя.

Общее объемное содержание твердой фазы в композиции в целом (γ), в данном случае, рассчитывается согласно уравнению (3):

$$\gamma = \gamma_1 + (1 - \gamma_1) \cdot \gamma_2 \quad (3)$$

Далее в расчетах γ_2 принята постоянной и равной $\gamma_2 = 0,307$, исходя из условий соблюдения баланса по углероду [3]. Коэффициент A_3 , определен экспериментально из кривой вязкости композиций, содержащей два наполнителя FeO и ПЖРВ, и равен $A_3 = 0,21$.

В таблице 1,2 приведены экспериментальные и расчетные величины относительной динамической вязкости ($\frac{\eta_k}{\eta}$) при объемном содержании твердой фазы $\gamma=0,5$.

Таблица 2 - Расчетные и экспериментальные значения относительной динамической вязкости композиций

Состав композиций	Значения величины $\frac{\eta_k}{\eta}$ при различной степени наполнения (γ)	
	Экспериментальное значение	Расчетная величина
FeO+ФФС	37,39	39,60
ПЖРВ+ФФС	83,38	59,22
FeO+ПЖРВ+ФФС	13,73	24,66

Из таблицы 2 видно, что наличие двух компонентов твердой фазы существенно отличающихся по гранулометрическому составу существенно уменьшает величину относительной динамической вязкости. Расчетные и экспериментальные значения величин вязкости отличаются не существенно, что подтверждает возможность практического использования принятых расчетных моделей.

Литература

1. В.А., Довыденков Модель для расчета вязкости композиций порошок – связующее для получения заготовок путем их литья и спекания / В.А. Довыденков, Г.П. Фетисов // Заготовительные производства в машиностроении. – 2009. - №1. – С. 47-49.
2. В.А., Довыденков Вязкость композиции порошок – связующее, в которых твердая фаза состоит из нескольких компонентов различной дисперсности / В.А. Довыденков // Заготовительные производства в машиностроении. – 2009. - №2. – С. 54-55.
3. В.А. Довыденков Расчет композиций железо – оксиды – связующее для получения заготовок с применением МИМ – технологий / В.А. Довыденков // Технология металлов. – 2009. - №3. – С. 28-30.
4. А.Ш.Бикбулатов, А.А. Усманова. Усовершенствованные коэффициенты переноса молекулярной массы в неидеальных смесях // Вестник Казанского технол. ун-та. 2012 №18 С. 174-176.
5. В.С.Герасимов, А.Е.Чалых, О.В.Стойнов. О η - температуре в смесях полимеров // Вестник Казанского технол. ун-та. 2012. №22. С. 103-106.

© В. А. Довыденков – д-р техн. наук, дир. ООО «Наномет», г. Йошкар-Ола, pm@metma12.ru; О.С. Зверева - асс. каф. машиностроения и материаловедения Поволжского госуд. технол. ун-та, г. Йошкар-Ола, kmim@volgatech.net; С. Я. Алибеков – д-р техн. наук, проф., зав. каф. машиностроения и материаловедения Поволжского госуд. технол. ун-та; Р. С. Сальманов - канд. техн. наук, доц. каф. физики КНИТУ.