

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 формуемых 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 (η) от величины объемного содержания твердой фазы (g). На этом же рисунке приведены расчетные кривые зависимости величины η от g . 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 моодисперсного компонента рассчитывается согласно выражения (1): $\eta = \eta_k / (1 - g)$, (1) где η_k – динамическая вязкость

композиции в целом; η - динамическая вязкость ФФС; - объемное содержание твердой фазы; - 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 в правой - величины, заданные в процессе эксперимента ($= 0,2$; крайнее определившееся значение) и значение, определенное методом экструзии «сырой» смеси через щелевую фильеру. В таблице 1 приведены расчетные значения величины A_1 и значение для различных видов компонентов твердой фазы. Таблица 1 - Значения величин A_1 и g_{k1} для однокомпонентных композиций с различным видом твердой фазы (наполнителя)

Наполнитель	A_1	g_{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 (η_r) от величины объемного содержания твердой фазы (g_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 A100S; - экспериментальная кривая наполнитель НС; - - - - - - - расчетные кривые: 1 - расчетная кривая относительной динамической вязкости композиций из порошка железного ПЖРВ 3.200.28, A100Si 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 и определить значения величин A_1 и g_{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 K1 в композиции в целом через g_1 , а объемное содержание компонента K2 в композиции ФФС + K2 через g_2 , тогда относительная динамическая вязкость композиции описывается уравнением (2), как это показано в работе [2]. (2) где – объемное содержание наполнителя №1 в композиции в целом; – объемное содержание наполнителя № 2 в системе «наполнитель №2 – связующее»; и – критические объемные содержания наполнителя №1 и №2, соответственно; A1 и A2 – постоянные коэффициенты, определяемые экспериментально для однокомпонентных композиций K1 и K2 (табл. 1); A3 – коэффициент, определяемый экспериментально из кривой вязкости композиций, содержащей два наполнителя. Общее объемное содержание твердой фазы в композиции в целом (g), в данном случае, рассчитывается согласно уравнению (3): (3) Далее в расчетах γ_2 принята постоянной и равной $\gamma_2 = 0,307$, исходя из условий соблюдения баланса по углероду [3]. Коэффициент A3, 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 (η) при объемном содержании твердой фазы $g=0,5$. Таблица 2 - Расчетные и экспериментальные значения относительной динамической вязкости композиций

Состав композиций	Значения величины при различной степени наполнения (g)	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.