

Порошковая металлургия и композиционные материалы

УДК 621.762.4

DOI: 10.14529/met160121

РЕОЛОГИЯ ГРАФИТОПЛАСТОВЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

М.Н. Самодурова, Л.А. Барков, Ю.С. Латфулина, В.П. Созыкин

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск

Реологические методы решения технологических задач нашли свое применение в металлургии, в производстве полимеров, строительных и других материалов уже в середине прошлого века. В основе методов лежат зависимости между напряжениями и деформациями или скоростями деформаций в процессах нагружения материалов. Большое значение для понимания особенностей структурно-механических свойств порошковых графитопластовых композиционных материалов имело обстоятельное изучение различных пластичных систем, проведенное в смежных отраслях техники. Широкое развитие получила реология, которая занимается изучением деформаций и течения дисперсных систем, к которым, в частности, относятся порошковые графитопластовые композиционные материалы. Без использования методов реологии невозможно оценить структурно-механические свойства порошков графитопластов, которые в связи с этим часто называют реологическими свойствами. В настоящее время в результате многочисленных исследований советских и зарубежных ученых созданы четкие представления о структурно-механических свойствах порошков графитопластов и разработаны научно обоснованные методы их исследования. К сожалению, до настоящего времени в отечественной технической литературе отсутствуют сведения о реологии композиционных материалов на основе углерода. В статье представлены результаты изучения реологии графитопластовых композиционных материалов.

Ключевые слова: реология; напряжения; деформации; физические и механические свойства.

Введение

Реология как самостоятельная наука выделилась из механики деформируемых сред лишь в начале XX в. В середине XX в. реологические методы решения технологических задач уже применялись в металлургии, производстве полимеров, в промышленных технологиях по производству стекла и строительных материалов, а также других промышленных технологиях [1]. Так, реология как раздел механики деформируемых металлических сред используется уже более полувека для установления зависимостей в процессах их нагружения. Прежде всего, между напряжениями и деформациями. В этом случае реологические уравнения записываются в виде функционалов тензоров напряжений $T_{\sigma} = T_{\sigma}[T_{\varepsilon}(\tau)]_{t_0}^t$ и тензоров деформаций $T_{\varepsilon} = T_{\varepsilon}[T_{\sigma}(\tau)]_{t_0}^t$, характеризующих диаграмму нагружения.

Вид истинной диаграммы нагружения зависит от физических свойств деформируемого материала, а также от технологических свойств в процессах их нагружения.

В статье представлены результаты изучения реологии графитопластовых порошковых композиций как в процессах их подготовки, так и при деформации, содержащих в качестве наполнителя графит искусственный измельченный по

ТУ 1916-109-071-2009, полученный из отходов предприятий электродной промышленности, в качестве пластификатора – порошковую фенолформальдегидную смолу новолачного типа по ТУ 924.1.32250229.006-2008 марки СФП-011А, содержащую 6–10 % порошка уротропина (отвердителя).

Физические свойства порошков наполнителя и пластификатора

1. Физические свойства порошков наполнителя [2–8]

К физическим свойствам порошков наполнителя в виде графита по ТУ 1916-109-071-2009 относятся форма и размер частиц, гранулометрический состав, удельная поверхность, плотность, микротвердость. Эти свойства влияют на прессуемость порошков и реологию композиции.

Форма частиц. Форма частиц порошка может быть разной в зависимости от способа его получения. Форма частиц влияет на насыпную плотность порошка, его текучесть, прессуемость и прочность прессовок.

Размер частиц и гранулометрический состав. В зависимости от способа получения размер частиц порошка колеблется от долей микрона до долей миллиметра. Размер в сочетании с другими свойствами порошка определяет его прессуемость,

необходимое давление при прессовании для получения заданной плотности, а также на свойства готовых изделий. Распределение частиц порошка по фракциям различной крупности называется гранулометрическим составом порошка.

Удельная поверхность. Под удельной поверхностью порошкообразных понимают поверхность единицы объема порошка. Удельная поверхность зависит от размеров частиц порошка и степени развитости их поверхности, на которую влияют условия получения порошка. Величина удельной поверхности оказывает значительное влияние на прессуемость порошка. С увеличением удельной поверхности порошка возрастает количество адсорбированных газов, что ухудшает прессуемость порошка. При прессовании порошков с большой удельной поверхностью увеличиваются потери на трение между частицами порошка, уменьшается плотность прессовок.

Плотность. Истинная плотность порошков зависит от их внутренней пористости, дефектности кристаллической решетки, содержания примесей. Истинная плотность может значительно отличаться от плотности, вычисляемой по данным рентгенографического определения параметров решетки. Истинную плотность порошка, определяемую пикнометрическим способом, называют пикнометрической плотностью.

Наличие внутрочастичной пористости в частицах порошка является важной характеристикой. Она облегчает деформацию частиц при прессовании и способствует достижению требуемой плотности при более низких давлениях.

Микротвердость. Микротвердость является своего рода характеристикой пластичности порошков. Микротвердость зависит от содержания в основном порошке примесей, а также от искажений его кристаллической решетки, связанных со способом получения порошка и его предварительной обработкой.

2. Физические свойства порошков пластификатора

Как известно [9], фенолформальдегидные смолы новолачного типа получают в результате реакции фенола с формальдегидом в кислой среде. Для создания этой кислой среды обычно используется щавелевая кислота, имеющая по сравнению с соляной, серной и фосфорной кислотами меньшую коррозионную активность.

Выпускаемые химической промышленностью страны новолачные смолы, представляющие собой линейные олигомеры, в молекулах которых фенольные ядра соединены метиловыми мостиками, поставляются потребителям в виде смесей порошков, крошек и чешуек от светло-желтого до темно-коричневого цвета.

К физическим свойствам порошков пластификатора в виде фенолформальдегидной смолы новолачного типа марки СФП-011А относятся

форма и размер частиц, гранулометрический состав, удельная поверхность, плотность, микротвердость, а также способность к каплеобразованию и превращению в легкоподвижный расплав при повышенной температуре, способность к смачиванию расплавом поверхностей порошковых частиц графита, способность к термической полимеризации – образованию полимеров из молекул мономеров, способность к отверждению при повышенной температуре путем взаимодействия с уротропином [10–14].

Форма, размер, гранулометрический состав и удельная поверхность. Перечисленные физические свойства в первую очередь влияют на температурный диапазон каплеобразования смолы и ее превращения в расплав.

Плотность и микротвердость. Эти свойства влияют на содержание в графитопластовых композициях перед их формованием газов и паров, а также на прессуемость и уплотняемость композиций в процессах формования.

Способность смолы к каплеобразованию и превращению в расплав при повышенной температуре. Расплав проявляет такие физические свойства как подвижность расплава и его динамическая вязкость, которые обеспечивают смачивание поверхностей частиц графита, выполнение термической полимеризации мономеров смолы в полимеры и отверждение расплава смолы при взаимодействии с отвердителем.

Способность расплава смолы к смачиванию поверхностей частиц графита. При смачивании частиц графита (твердая фаза) расплавом смолы (жидкая фаза) возникает физико-химическое межмолекулярное взаимодействие на поверхностях раздела фаз, называемое иммерсионным, и характеризующееся таким физическим свойством как теплота смачивания. Это означает, что способность к смачиванию расплава смолы обеспечивает связь между отдельными частицами графитового порошка.

Способность расплава смолы к термической полимеризации. Формование графитопластовых композиций выполняется не только при повышенной до 200 °С температуре, но и при высоком удельном давлении, достигающем и часто превышающем 50 МПа. Процесс термической полимеризации, заключающийся в образовании высокомолекулярного полимера путем многократного присоединения молекул низкомолекулярного мономера к активным центрам растущей молекулы полимера, выполняется за целый ряд связанных этапов:

- зарождение на молекуле активных центров;
- присоединение к центрам мономеров;
- переход активных центров на другие молекулы и присоединение к ним мономеров;
- образование из каждого одного центра нескольких активных центров;
- гибель активных центров.

Порошковая металлургия и композиционные материалы

Способность расплава смолы к отверждению. Расплав смолы при температурах 150–200 °С, взаимодействуя с отвердителем (уротропином), приобретает способность к отверждению, заключающуюся в создании пространственной структуры химически связанных между собой макромолекул. Инициатором отверждения является газообразный формальдегид, выделяющийся при разложении при температурах 150–200 °С уротропина.

Технологические свойства графитопластовых композиций

К технологическим свойствам графитопластовых композиций относятся плотность, текучесть и прессуемость.

Насыпная плотность. Насыпная плотность представляет собой массу единицы объема свободно насыпанного порошка. Величина насыпной плотности зависит от плотности частиц порошка, формы и размера частиц порошка, состояния их поверхности.

Величина насыпной плотности порошковой композиции определяет размер рабочих частей пресс-форм (высоту матрицы, длину пуансонов), а также размеры рабочей части дозатора при автоматическом прессовании.

Текучесть. Текучестью порошка называют его способность с определенной скоростью вытекать из отверстия. Эта характеристика очень важна для осуществления быстрой и непрерывной подачи порошка в матрицу, для качественного заполнения рабочих частей матрицы сложной конфигурации. Плохая текучесть способствует получению неоднородных по плотности изделий. Текучесть порошка зависит от очень многих факторов: плотности, формы и размера частиц, гранулометрического состава порошка, состояния его поверхности и т. д.

Текучесть обозначается количеством граммов порошка, вытекающих через отверстие за секунду, и измеряется при помощи конусной воронки с калиброванным отверстием. Приближенной характеристикой текучести может служить угол естественного откоса.

Прессуемость. Прессуемостью называется способность порошка образовывать прессовки определенной формы и нужной плотности под воздействием данного давления. Прессуемость порошка можно определить двумя технологиче-

скими характеристиками: уплотняемостью и формуемостью. Уплотняемость – это способность порошка к обжатию в процессе прессования, т. е. зависимость плотности давления прессования. Уплотняемость зависит в основном от свойств частиц порошка. Характеристикой уплотняемости является диаграмма прессования, построенная в координатах плотность – давление прессования.

Формуемость – это способность порошка сохранять заданную форму в определенном интервале плотности.

Качественную оценку формуемости можно дать по внешнему виду прессовки (отсутствие трещин, состояние кромок и т. д.). Количественной оценкой формуемости служит прочность прессовки.

Результаты исследования свойств порошковых композиций

Исследованные составы порошковых композиций на основе графита приведены в табл. 1.

Как уже отмечено ранее, в качестве основы композиции используется графит искусственный измельченный по ТУ 1916-109-071-2009. В качестве связки используется порошковая фенолформальдегидная смола новолачного типа по ТУ У24.1.32250229.006-2008, содержащая уротропин, марки СФП-011А. Электролитический порошок меди марки ПМС-1 имеет насыпную плотность 1,25–2,00 г/см³.

Пикнометрическая плотность графита и смеси графита со связкой

Результаты исследования пикнометрической плотности разных углеродных материалов приведены в большом числе монографий и справочников [3–8]. Так общие сведения о пикнометрической плотности известных углеродных материалов приведены в справочнике [4] в виде табл. 2.

К сожалению, в этой таблице отсутствуют сведения о плотности искусственного графита и графита искусственного измельченного по ТУ 1916-109-071-2009, получаемого из отходов предприятий электродной промышленности. Поэтому задачей данной работы стало исследование пикнометрической плотности и других свойств графита и композиций на его основе, используемых в качестве исходных материалов при производстве изделий электротехники на ООО «Графитопласт» (г. Челябинск, <http://www.graphitoplast.ru>).

Составы порошковых композиций

Таблица 1

Номер состава	Графит искусственный, %	Смола марки СФП-011А, %	Кокс марки КГН, %	Стеарат цинка, %
1	100	–	–	–
2	86	14	–	–
3	71	14	15	–
4	71	14	10	5

Таблица 2

Пикнометрическая плотность углеродных материалов

Материал	Плотность, г/см ³	Материал	Плотность, г/см ³
Активный уголь	1,46	Битуминозный уголь	2,09
Древесный уголь из мягких пород	1,60	Антрацит	2,09
		Пековый кокс	2,14
Целлюлозный кокс	1,68	Лигнит	2,18
Кокс из древесных смол	1,70	Печная сажа	2,18
Древесный уголь из твердых пород	1,87	Ретортный уголь	2,23
		Нефтяные коксы	2,20–2,26
Ацетиленовая сажа	2,04	Природный графит	2,26

Пикнометрическую плотность частиц порошка чаще всего определяют при помощи мерных сосудов – пикнометров. Вначале определяют массу сухого пикнометрического сосуда M , затем его массу с дистиллированной водой M_1 , налитой до метки на поверхности сосуда. Зная плотность воды при температуре опыта ρ_v , определяют объем пикнометра $V_{\text{пикн}}$:

$$V_{\text{пикн}} = (M_1 - M) / \rho_v.$$

Эта величина является постоянной для данного пикнометра. Высушенный пикнометр заполняют на 0,5–0,7 объема исследуемым порошком и взвешивают, фиксируя M_2 . После взвешивания в пикнометр заливают пикнометрическую жидкость до заполнения его на 0,75–0,8 объема, взбалтывают, а лучше вакуумируют до остаточного давления, определяемого упругостью пара используемой пикнометрической жидкости. Затем доливают пикнометрическую жидкость до метки на поверхности сосуда и взвешивают пикнометр с порошком и жидкостью, получая M_3 . Рассчитывают объем жидкости в пикнометре $V_{\text{ж}}$:

$$V_{\text{ж}} = (M_3 - M_2) / \rho_{\text{ж}},$$

где $\rho_{\text{ж}}$ – плотность пикнометрической жидкости.

Определяют пикнометрическую плотность частиц порошка $\rho_{\text{пикн}}$:

$$\rho_{\text{пикн}} = (M_2 - M) / (V_{\text{пикн}} - V_{\text{ж}}).$$

Пикнометрическая жидкость не должна взаимодействовать с материалом порошка и должна хорошо его смачивать; значения упругости паров, вязкости и размера молекул жидкости должны быть по возможности минимальными. При использовании пикнометрической жидкости с большим размером молекул мельчайшие трещины и поры частиц порошка не будут заполнены ею полностью, проба порошка сохранит часть заключенного в ней воздуха, и значение рассчитанной величины $\rho_{\text{пикн}}$ окажется заниженным. В качестве пикнометрической жидкости чаще всего используют спирты, бензол, ацетон.

Для определения пикнометрической плотности графита по ТУ 1916-109-071-2009 и смеси графита со связкой использовали три типа пикнометров: 1) с сосудами шаровидной формы, 2) с переливчатым капилляром и 3) воздушный пикнометр. В качестве пикнометрической жидкости применялся спирт. Результаты исследования приведены в табл. 3 и 4.

**Насыпная плотность графита и смесей:
графит + связка, графит + связка + медь**

Насыпная плотность определялась методом, регламентированным ГОСТ Р 50019.1-92 «Графит. Метод определения насыпной плотности». В качестве аппаратуры использовались: сушильный шкаф, весы лабораторные, мерный цилиндр, ста-

Таблица 3

Пикнометрическая плотность порошка графита

Пикнометр	Масса навески материала, г	Масса пикнометра со спиртом и навеской, г	Масса пикнометра с навеской, г	Действительная плотность, г/см ³
1	1,9992	40,4115	18,9638	1,998
2	2,0039	41,0360	19,8251	2,074
3	1,9998	44,3908	19,6820	2,005

Таблица 4

Пикнометрическая плотность смеси порошка графита со связкой

Пикнометр	Масса навески материала, г	Масса пикнометра со спиртом и навеской, г	Масса пикнометра с навеской, г	Действительная плотность, г/см ³
1	2,0212	40,4602	19,1697	1,87 1,87
2	1,9816	40,7606	19,7372	1,92
3	2,0425	43,7546	19,7793	1,75

Таблица 5

Состав насыпки	Насыпная плотность, г/см ³	Насыпная плотность после утряски, г/см ³
Графит	0,67 ± 0,02	0,90 ± 0,02
Графит + связка	0,60 ± 0,02	0,89 ± 0,02

Таблица 6

Номер пробы	Температура воздуха, °С	Влажность воздуха, %	Атмосферное давление, мм рт. ст.	Масса пробы, г	Насыпная плотность, г/см ³
I	19	88	728	21,54	0,877
	18	73	731	21,32	0,868
	16,5	66	755	21,68	0,883
II	19	88	728	20,42	0,831
	18	73	731	20,20	0,822
	16,5	66	755	20,56	0,830
III	19	88	728	18,40	0,750
	18	73	731	18,58	0,756
	16,5	66	755	19,50	0,767

кан, воронка лабораторная, термометр, секундомер и др. Подготовка к исследованию включала промывку, сушку и взвешивание цилиндра с погрешностью до 0,01 г, заполнение его дистиллированной водой при температуре (20 ± 0,5) °С и взвешивание для определения его вместимости.

Процесс исследования насыпной плотности включал установку цилиндра под воронкой, укрепленной на штативе на расстоянии (15 ± 5) мм, разрыхление пробы и засыпку ее в стакан, пересыпку пробы в течение 30–40 с в воронку, заполнение мерного цилиндра и его последующее взвешивание с погрешностью не более 0,01 г. Процесс выполнялся три раза.

Насыпная плотность ρ_n определяется по формуле

$$\rho_n = \frac{m_1 - m_2}{V},$$

где m_1 – масса цилиндра с графитом; m_2 – масса цилиндра; V – вместимость цилиндра.

Результаты исследования насыпной плотности графита и смесей приведены в табл. 5.

Кроме того, выполнены исследования по влиянию на насыпную плотность смеси графит + связка заданного ее гранулометрического состава, массы пробы и внешних условий выполнения исследования (температуры, влажности воздуха и атмосферного давления).

Гранулометрический состав смеси включал три фракции: 1) 0,4–0,63 мм, 2) 0,16–0,2 мм и 3) 0,04–0,05 мм. Из них составили три пробы: проба I содержала 50 % фракции 1, 25 % фракции 2 и 25 % фракции 3; проба II содержала 25 % фракции 1, 50 % фракции 2 и 25 % фракции 3; проба III содержала 25 % фракции 1, 25 % фракции 2 и 50 % фракции 3.

Результаты исследования представлены в табл. 6.

Анализ табличных данных показывает, что самое существенное влияние на насыпную плотность оказывает гранулометрический состав проб. Проба I, содержащая 50 % крупных частиц графита, 25 % частиц средних размеров и 25 % мелких частиц, имеет наибольшую насыпную плотность.

Литература

1. Реология, теория и приложения / под ред. Ф. Эйриха. – М.: Иностранная литература, 1962. – 824 с.
2. Гун, Г.Я. Теоретические основы обработки металлов давлением / Г.Я. Гун. – М.: Металлургия, 1980. – 456 с.
3. Веселовский, В.С. Угольные и графитные конструкционные материалы / В.С. Веселовский. – М.: Наука, 1966. – 225 с.
4. Рогайлин, М.И. Справочник по углеграфитовым материалам / М.И. Рогайлин, Е.Ф. Чалых. – Л.: Химия, 1974. – 208 с.
5. Фиалков, А.С. Формирование структуры и свойств углеграфитовых материалов / А.С. Фиалков. – М.: Металлургия, 1965. – 309 с.
6. Свойства конструкционных материалов на основе углерода: справочник / под ред. В.П. Соседова. – М.: Металлургия, 1975. – 336 с.
7. Шулепов, С.В. Физика углеродных материалов / С.В. Шулепов. – Челябинск: Металлургия, Челябинское отделение, 1990. – 336 с.
8. Шурик, А.Г. Искусственные углеродные материалы / А.Г. Шурик. – Пермь: Перм. гос. ун-т, 2009. – 342 с.
9. Кноп, А. Фенольные смолы и материалы на их основе / А. Кноп, В. Шейб. – М.: Химия, 1983. – 280 с.
10. Megson, N.J. Phenolic resin chemistry / N.J. Megson. – London: Butterworth, 1958. – 320 p.
11. Hummel, D.O. Infrared analysis of polymers,

resins and additives / D.O. Hummel, K. Scholl. – Germany: Verlag Chemie, 1973. – 416 p.

12. Тиниус, К. Пластификаторы / К. Тиниус; под ред. Е.Б. Тростянской. – М.; Л.: Химия, 1964. – 915 с.

13. Тагер, А.А. Физикохимия полимеров / А.А. Тагер. – М.: Химия, 1978. – 544 с.

14. Основы технологии переработки пластмасс / С.В. Власов, Л.Б. Кандырин, В.Н. Кулезнев и др. – М.: Химия, 2004. – 600 с.

Самодурова Марина Николаевна, канд. техн. наук, руководитель НОЦ «Ресурсный центр спецметаллургии», доцент кафедры машин и технологий обработки материалов давлением, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; sm@susu.ru.

Барков Леонид Андреевич, д-р техн. наук, профессор, заместитель руководителя по научной работе НОЦ «Ресурсный центр спецметаллургии», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; barkovla@susu.ru.

Латфулина Юлия Сергеевна, инженер НОЦ «Ресурсный центр спецметаллургии», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; latfulina174@gmail.com.

Созыкин Валерий Павлович, канд. техн. наук, доцент кафедры машин и технологий обработки материалов давлением, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; sozykinvp@susu.ru.

Поступила в редакцию 23 декабря 2015 г.

DOI: 10.14529/met160121

RHEOLOGY OF GRAPHITOPLASTIC COMPOSITE MATERIALS

M.N. Samodurova, sm@susu.ru,

L.A. Barkov, barkovla@susu.ru,

Yu.S. Latfulina, latfulina174@gmail.com,

V.P. Sozykin, sozykinvp@susu.ru

South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

Rheological methods for the solution of technical tasks were developed in metallurgy, in the production of polymers, construction and other materials as far as in the middle of the last century. The methods are based on dependences between stresses and strains or the deformation rates in the processes of loading the materials. A thorough study of various plastic systems made in related fields of technology was of great importance for understanding structural and mechanical properties of powder graphitoplastic composite materials. Rheology which investigates deformation and flow of disperse systems which in particular include powder graphitoplastic composite materials was widely developed. Without using rheology methods it is impossible to estimate structural and mechanical properties of graphitoplastic powders which are often called rheology properties. Currently, clear conceptions of structural and mechanical properties of graphitoplastic powders are created as a result of numerous studies by both Soviet and foreign scientists. Scientifically grounded methods of their studies are developed. Unfortunately, up to now Russian technical literature lacks information about the rheology of carbon-based composite materials. The results of studying rheology of graphitoplastic composite materials are presented in this article.

Keywords: rheology; stress; strain; deformation; physical and mechanical properties.

References

1. *Rheology: Theory and Applications*. Vol. 1. F.R.Eirich (Ed.). New York, Academic Press Inc., 1956.
2. Gun G.Ya. *Teoreticheskie osnovy obrabotki metallov davleniem* [Theoretical Foundations of Metal Forming]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1980. 456 p.
3. Veselovskiy V.S. *Ugol'nye i grafitnye konstruktsionnye materialy* [Carbon and Graphite Construction Materials]. Moscow, Nauka Publ., 1966. 225 p.
4. Rogaylin M.I., Chalykh E.F. *Spravochnik po uglegrafitovym materialam* [Handbook of Carbon Materials]. Leningrad, Khimiya Publ., 1974. 208 p.

5. Fialkov A.S. *Formirovanie struktury i svoystv uglegrafitovykh materialov* [Formation of Structure and Properties of Carbon Materials]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1965. 309 p.
6. *Svoystva konstruktsionnykh materialov na osnove ugleroda* [Properties of Construction Materials Based on Carbon]. Sosedov V.P. (Ed.). Moscow, Metallurgiya Publ., 1975. 336 p.
7. Shulepov S.V. *Fizika uglerodnykh materialov* [Physics of Carbon Materials]. Chelyabinsk, Metallurgiya Publ., 1990. 336 p.
8. Shchurik A.G. *Iskusstvennye uglerodnye materialy* [Synthetic Carbon Materials]. Perm, Permskiy Gosuniversitet Publ., 2009. 342 p.
9. Knop A., Sheyb V. *Fenol'nye smoly i materialy na ikh osnove* [Phenolic Resins and Materials Based on Them]. Moscow, Khimiya Publ., 1983. 280 p.
10. Megson N. J. *Phenolic Resin Chemistry*. London, Butterworth, 1958. 320 p.
11. Hummel D.O., Scholl F.K. *Infrared Analysis of Polymers, Resins and Additives*. Weinheim, Verlag Chemie, 1973. 416 p.
12. Tinius K. *Plastifikatory* [Plasticizers]. Trostyanskaya E.B. (Ed.). Moscow-Leningrad, Khimiya Publ., 1964. 915 p.
13. Tager A.A. *Fizikokhimiya polimerov* [Physical Chemistry of Polymers]. Moscow, Khimiya Publ., 1978. 544 p.
14. Vlasov S.V., Kandyrin L.B., Kuleznev V.N. *Osnovy tekhnologii pererabotki plastmass* [The Basic Technology of Plastics Recast]. Moscow, Khimiya Publ., 2004. 600 p.

Received 23 December 2015

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Реология графитопластовых композиционных материалов / М.Н. Самодурова, Л.А. Барков, Ю.С. Лагфулина, В.П. Созыкин // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2016. – Т. 16, № 1. – С. 142–148. DOI: 10.14529/met160121

FOR CITATION

Samodurova M.N., Barkov L.A., Latfulina Yu.S., Sozykin V.P. Rheology of Graphitoplastic Composite Materials. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*, 2016, vol. 16, no. 1, pp. 142–148. (in Russ.) DOI: 10.14529/met160121
