

РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МОДИФИЦИРОВАННЫХ БАЗАЛЬТОВЫХ СТЕКОЛ

Ю. Г. Павлюкевич, Л. Ф. Папко, Е. Е. Трусова

(e-mail: pavliukevitch.yura@yandex.ru)

Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь

В настоящее время уделяется большое внимание фундаментальным исследованиям базальтовых стекол и волокон, а также практическому применению базальтового волокна в качестве армирующего материала в производстве композитов. Одним из эффективных способов повышения эксплуатационных характеристик базальтовых волокон является модифицирование их состава [1–5]. При производстве непрерывных базальтовых волокон фильерным способом необходимо также решать ряд технологических проблем, которые обусловлены нестабильностью химико-минерального состава базальтов и высокой поглощающей способностью железосодержащего расплава.

В результате проведенных нами исследований установлены особенности влияния алюмо- и борсодержащих модификаторов на технологические и механические свойства базальтовых стекол и установлена возможность повышения их прочности на 15–25 % путем введения в состав сырьевых композиций на основе андезитобазальта дистена и колеманита [6].

Целью настоящего этапа работы является исследование реологических свойств базальтовых расплавов и стекол модифицированных составов. Реологические свойства стеклообразующих расплавов, и в первую очередь вязкость, определяют условия плавления и получения осветленного гомогенного расплава, температурный интервал формования волокна, а также термостойкость – верхнюю температурную границу эксплуатации волокнистых материалов.

Составы опытных стекол приведены в табл. 1, при этом стекло состава 1 получено при плавлении андезитобазальта, составов 2 – 6 – при плавлении сырьевых композиций базальт – модификатор.

Табл. 1. Химический состав опытных стекол

№ сост ава	Массовое содержание компонентов, %								
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	B ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂
1	53,0	17,22	12,33	8,28	–	4,07	2,52	1,50	1,08
2	50,98	20,35	11,83	7,98	–	3,94	2,51	1,44	0,96
3	49,09	14,66	12,01	10,63	4,40	4,26	2,37	1,46	1,11
4	50,92	15,29	12,53	9,54	2,29	4,28	2,47	1,52	1,16
5	48,61	19,81	11,96	9,11	2,19	4,09	2,36	1,45	1,11
6	47,33	21,24	11,65	8,87	2,13	3,98	2,30	1,42	1,08

Высокотемпературная вязкость базальтовых расплавов определялась на вискозиметре RSV–1600 фирмы Orton. Установлено, что повышение содержания Al₂O₃ в базальтовом расплаве (состав 2) приводит к повышению энергии активации вязкого течения (рис. 1). Введение B₂O₃ в сочетании с CaO в состав базальтовых стекол приводит к существенному снижению вязкости расплава (составы 2, 3). Так, вязкость, составляющая 10 Па·с, для базальтового стекла достигается при температуре 1440 °С, для стекла, содержащего 4,4 мас.% B₂O₃, – при температуре 1385 °С. При совместном введении в состав сырьевых композиций дистена и колеманита (составы 5, 6) обеспечивает показатели реологических свойств на уровне вязкости базальтового расплава базового состава либо ниже данных показателей.

В работе [7] показано, что рабочий интервал вязкости базальтовых расплавов при формовании непрерывного базальтового волокна соответствует значениям 10 – 30 Па·с. Сопоставление экспериментальных данных определения вязкости расплава базового состава с данными по технологическим режимам вытягивания волокна позволяет считать оптимальным интервал значений 30 – 50 Па·с ($\lg \eta$ составляет 1,45 – 1,7). При получении комплексных нитей различной линейной плотности температурный интервал формования

базальтового волокна базового состава составляет 1300–1350 °С. При введении в состав базальтового стекла оксидов бора и кальция температура выработки волокна снижается на 30–50 °С. По температурным зависимостям вязкости модифицированных стекол определены технологические параметры формования волокна.

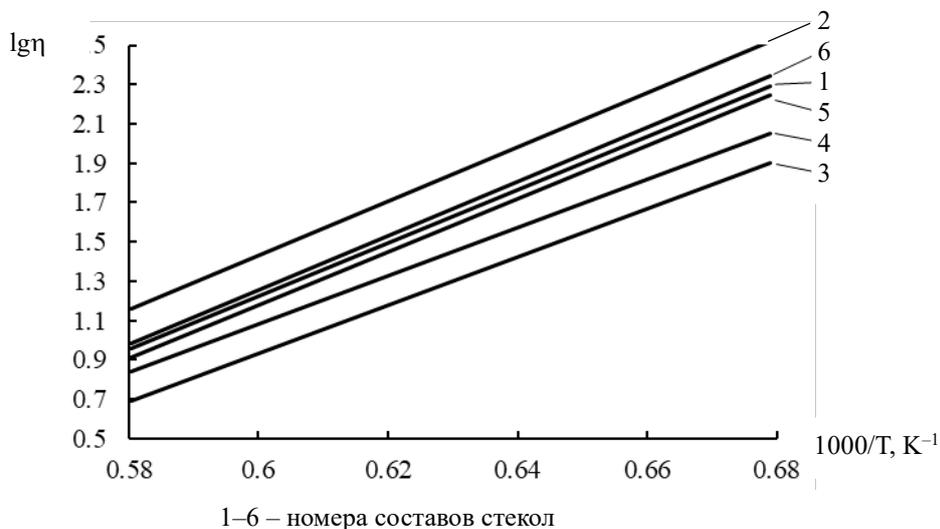


Рис. 1. Температурная зависимость вязкости базальтовых стекол

Для определения показателей низкотемпературной вязкости использован dilatометрический метод. По dilatометрической кривой определяется ряд характеристических температур, соответствующих показателям низкотемпературной вязкости, в частности температура стеклования, соответствующая вязкости $10^{12,3}$ Па·с, а также dilatометрическая температура размягчения (вязкость около 10^{10} Па·с). Температура стеклования опытных стекол изменяется от 645 до 684 °С. Влияние модификаторов на показатели низкотемпературной вязкости базальтовых стекол коррелирует с их влиянием на высокотемпературную вязкость. Показатели температуры стеклования определяют термостойкость волокна.

Таким образом, экспериментальное исследование высокотемпературной вязкости модифицированных базальтовых стекол позволяет выбрать технологичные составы стекол. К ним относятся композиции базальт – колеманит, обеспечивающие введение комплексного модификатора $\text{B}_2\text{O}_3 + \text{CaO}$. Снижение вязкости стекол при введении данного модификатора обуславливает снижение температуры формования волокна и, соответственно, снижение энергоемкости процесса, повышение срока службы фильерных питателей, изготавливаемых из платинородиевого сплава. На основе композиций базальт – дистен – колеманит получены модифицированные стекла с показателями реологических свойств на уровне показателей исходного базальтового стекла.

Литература

1. Chen X., Zhang Y., Huo H., Wu Z. Study of high tensile strength of natural continuous basalt fibers // Journal of Natural Fibers. 2020. V. 17, № 2. P. 214 – 222.
2. Липатов Я.В., Гутников С.И., Маньлов М.С., Лазорьяк Б.И. Влияние ZrO_2 на щелочестойкость и механические свойства базальтовых волокон // Неорганические материалы. 2012. Т. 48. № 7. С. 858 – 864.
3. Liu J., Yang J., Chen M., Lei L., Wu Z. Effect of SiO_2 , Al_2O_3 on heat resistance of basalt fiber // Thermochimica Acta. 2018. V.660. P.56 – 60.
4. **Lonnroth N., Yue Y.Z. Influence of chemical composition on the physical properties of basaltic glasses // Glass Technol.: Eur. J. Glass Sci. Technol., Part A. 2009. V. 50. No. 3. P. 165 – 173.**
5. Meng Y., Liu J., Xia Y., Ran Q., Liang W., Ran Q., Xie Z. Preparation and characterization of continuous basalt fibre with high tensile strength // Ceramics International. 2021. V. 47. No. 9. P. 12410 – 12415.
6. Paulukevich Yu.G., Papko L.F., Trusova E.E., Uvarov A.A. Optimization of the basalt glass composition for the continuous fiber production // Materials science and engineering. 2022. № 2. P.11 – 15.
7. Chen M., Liu J., Wu Z. Zhishen Wu. Effect of Fe_2O_3 Concentration on the Properties of Basalt Glasses // Journal of Natural Fibers. 2020, V.19 (1). P. 1 – 11.