

3. Витязь П.А., Крутько Н.П., Ульянова Т.М., Шевченко А. А., Овseenко Л.В., Кашаед Е.А. Роль наноструктурных модификаторов при получении композиционной корундовой керамики. // Весті Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серія хімічных навук. 2019. Т. 55, № 4. С. 400-414.
4. Шевченко А.А., Долгий В.К., Барайшук С.М., Ульянова Т.М., Кашаед Е.А. Влияние фазового состава наноструктурных добавок на структуру и свойства керамики на основе оксида алюминия. / Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Перспективные технологии и материалы: Нанобудущее 2020», Севастополь, 14-16 октября 2020г, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», с. 175-179.
5. Ulyanova T.M., Vitiaz P.A., Krutko N.P., Ovseenko L.V., Shevchenok A.A., Titova L.V., Luchenok A.R Composite ceramics based on nanostructured refractory oxide whiskers / Advances in Materials 2014.- 3(5).-33-37.

УДК 544.236.4

**А.А. Шестаков¹, А.Е. Брестер¹, Н.И. Лапекин¹,
Н.С. Лазаренко¹, К.В. Вишнеvский², А.Г. Баннов¹**

¹Новосибирский государственный технический университет,
Новосибирск, Россия

²Белорусский государственный технологический университет,
Минск, Республика Беларусь

ВЛИЯНИЕ ДОБАВКИ ТЕХНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА НА ВЯЗКОСТЬ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНОЙ СМОЛЫ DER-331

Аннотация. В данной работе проводилось исследование технологических характеристик системы эпоксидная смола/технический углерод (ТУ) в зависимости от концентрации наполнителя. Были проанализированы реологические характеристики системы эпоксидная смола DER-331/ТУ. В качестве полимерной матрицы использовалась эпоксидная смола DER-331 на основе бисфенола А.

**A.A. Shestakov¹, A.E. Brester¹, N.I. Lapekin¹
N.S. Lazarenko¹, K.V. Vishnevsky², A.G. Bannov¹**

¹Novosibirsk State Technological University, Novosibirsk, Russian Federation

²Belarusian State Technological University, Minsk, Belarus

THE EFFECT OF THE ADDITION OF CARBON BLACK ON THE VISCOSITY OF COMPOSITIONS BASED ON EPOXY RESIN DER-331

Abstract. In this work, we investigated the technological characteristics of the epoxy resin / carbon black (TC) system depending on the concentration of the filler. The rheological characteristics of the DER-331 / TU epoxy resin system have been analyzed. DER-331 epoxy resin based on bisphenol A was used as a polymer matrix.

В последнее время доля использования эпоксидных смол в различных приложениях постоянно увеличивается. Однако, чистые эпоксидные смолы не представляют такого большого интереса, как наполненные эпоксидные смолы. Варьируя количество и тип наполнителя, можно менять свойства получаемых систем [1].

Вязкость - это важное свойство, которое необходимо учитывать при переработке пластических масс. Обычно ее измеряют при температуре, соответствующей этим операциям. Вязкость зависит от молярной массы, распределения молярной массы, химического состава смолы и наличия модификаторов или растворителей. Для смол с вязкостью около 4-10 Па·с при комнатной температуре, следует понимать, что для работы с такими вязкими смолами может потребоваться нагревание перед обработкой [2].

Поведение систем с добавлением технического углерода различного типа представляет значительный интерес для практического применения данной марки на производстве. В данной работе рассматривали технический углерод Alfa Aesar™.

Эпоксидный эквивалент является мерой содержания эпоксидных групп. Это вес смолы, содержащей химический эквивалент эпоксидной смолы.

В качестве полимерной матрицы использовалась эпоксидная смола DER-331 на основе бисфенола А (DOW Chemical, Германия) (с содержанием эпоксидных групп 5200–5500 моль/кг и средней молекулярной массой 340 г/моль).

Технический углерод (Alfa Aesar™) использовался в качестве наполнителя. Использовали концентрации наполнителя в диапазоне от 0 до 0,5 phr. Можно отметить, что концентрация ТУ в композитах была относительно низкой, так как большинство композитов имеют содержание наполнителя более 10 phr. Поэтому ТУ в композиционном материале можно рассматривать в качестве добавки.

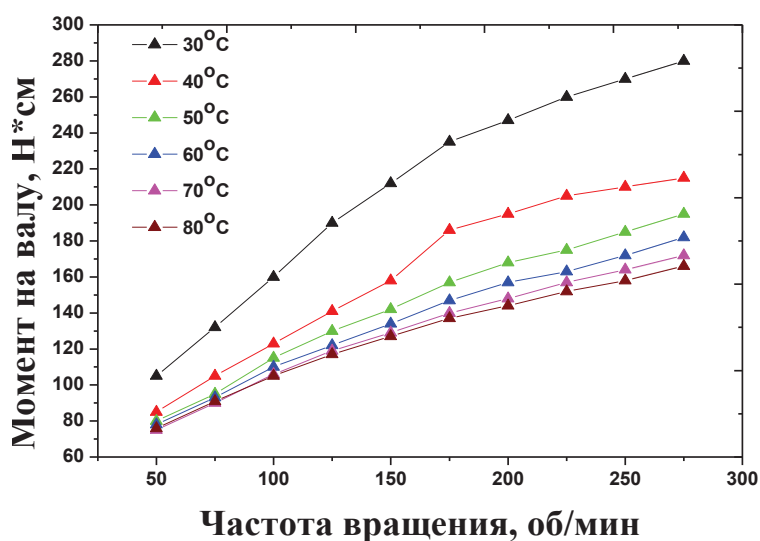


Рис. 1 – Реологические кривые чистого эпоксидного олигомера

Технологические параметры смешения эпоксидной смолы с техническим углеродом измеряли с помощью устройства с механической мешалкой ИКА Eurostar Power Control-Visc P7 для обработки высоковязких сред. Тип мешалки – якорная эмалированная, число лопастей – 2. Тип внутреннего устройства мешалки – одиночный цилиндр. Соотношение размеров $h/d=20/15$. Коэффициент сопротивления $z=0,65$. Диапазон вращающего момента составляет 8-290 об/мин. Максимальная вязкость, допустимая для перемешивания – 150000 мПа·с.

На рис. 1 представлена зависимость крутящего момента на валу от частоты вращения мешалки для смеси DER-331/ТУ. Видно, что крутящий момент на валу растет с увеличением частоты вращения. При 30-40°C наблюдается нелинейная зависимость, а дальнейшее повышение температуры выше 50°C сделало форму кривой более линейной. Для чистой смолы при 175 об/мин и 40°C крутящий момент вала немного увеличивается.

Резкий максимум наблюдался также для композита ЭС/ТУ-0,5 phr при 200 об/мин и 30°C. Как видно из полученных данных, повышенная вязкость смеси эпоксидная смола/технический углерод наблюдалась при относительно низких температурах (30-40°C).

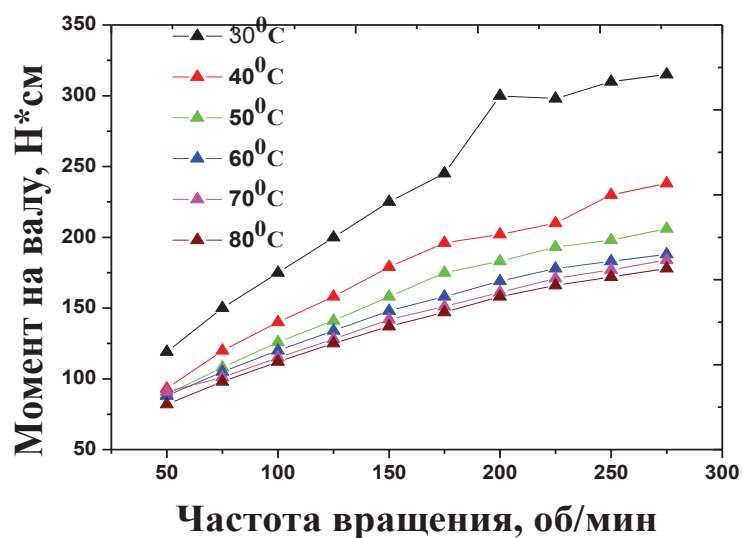


Рис. 2 – Реологические кривые смеси эпоксидного олигомера и 0,5 phr TU

На рис. 2 представлены реологические кривые смеси эпоксидного олигомера и 0,5 phr TU. Загрузка 0,5 phr технического углерода привела к увеличению кажущейся вязкости композитной смеси только при 30°C, где зафиксировано увеличение максимального крутящего момента на валу (при 275 об/мин) с 280 Н·см до 315 Н·см.

Данные реологические кривые были аппроксимированы для получения коэффициентов, чтобы можно было предсказать вязкость системы при любом количестве оборотов. В качестве аппроксимирующей функции была выбрана степенная функция $y=a \cdot x^b$. Полученные коэффициенты представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Коэффициенты зависимости момента на валу от температуры

Содержание TU, phr	t, °C	a	b	Стандартная погрешность коэффициента a, (±)	Стандартная погрешность коэффициента b, (±)
0	30	12,12363	0,56497	1,62934	0,02568
	40	9,41184	0,56487	1,51799	0,03082
	50	10,00095	0,52973	0,53013	0,01015
	60	10,90682	0,50093	0,4363	0,00767
	70	11,24701	0,48635	0,34258	0,00585
	80	12,9096	0,45513	0,35558	0,0053
Содержание TU, phr	t, °C	a	b	Стандартная погрешность	Стандартная погрешность

				коэффициента a, (±)	коэффициента b, (±)
0,5	30	11,19335	0,60221	2,28218	0,03888
	40	12,16843	0,53106	1,09688	0,01726
	50	12,89737	0,49744	1,14081	0,01697
	60	14,97568	0,45438	0,88769	0,01141
	70	15,10166	0,44585	0,93788	0,01196
	80	13,40166	0,46292	0,52937	0,0076

При увеличении числа оборотов мешалки, более отчетливо видна зависимость момента на валу от температуры. Добавление ТУ в систему увеличивает значение момента на валу, соответственно, увеличивается и вязкость системы.

Список использованных источников

1. Straub, S. Comparison of the Processing of Epoxy Resins in Pultrusion with Open Bath Impregnation and Closed-Injection Pultrusion / A. Senz, J. Ellinger // J. Compos. Sci. – 2019. – Vol. 3. – P. 87.
2. Huang, Y.D. Influence of ultrasonic treatment on the characteristics of epoxy resin and the interfacial property of its carbon fiber composites / L. Liu, J.H. Qiu, L. Shao // Compos. Sci. Technol. – 2002. – Vol. 62. – P. 2153–2159.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки (код FSUN-2020-0008).