

УДК: 536.46

## **ВЛИЯНИЕ НАНОПОРОШКОВ НА ТЕРМИЧЕСКИЕ И МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИТОВ**

Т.В. Мельникова, студент гр. 1Е11, 4 курс

К.О. Фрянова К.О, студент гр. 1ЕМ41, 1 курс

Научный руководитель: О.Б. Назаренко, д.т.н., профессор

Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
г. Томск

Эпоксидные полимеры обладают рядом свойств, которые делают их незаменимыми в качестве производства клеев, лакокрасочных покрытий, абразивных и фрикционных материалов, армированных пластиков, их используют как связующие при производстве слоистых пластиков на основе стеклоткани. Поэтому эпоксидные смолы заняли важное место в ряду промышленных полимерных материалов.

Для снижения горючести в полимеры вводят замедлители горения органической и неорганической природы [1]. Введение в состав эпоксидного клея мелкодисперсных металлических порошков – алюминия, меди, железа, вольфрама и др. является одним из способов повышения его теплопроводности, что необходимо для обеспечения отвода тепла в случае склеивания конструктивных элементов нагревательной аппаратуры [2, 3].

Целью данной работы являлось исследование влияния нанопорошков алюминия и меди на термическую стабильность и механическую прочность эпоксидных композитов.

Для получения эпоксидных композитов была использована эпоксидная смола ЭД-20, отверждение проводили с помощью полиэтиленполиамина, а в качестве наполнителя – нанодисперсный порошок алюминия (НП Al), нанодисперсный порошок окисленной меди, полученный в среде CO<sub>2</sub> (НП Cu(CO<sub>2</sub>)) и микродисперсный порошок борной кислоты. Концентрация НП Al и НП Cu(CO<sub>2</sub>) составляла 5 мас. %, борной кислоты (H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>) – 10 мас. %. НП Al был получен методом электрического взрыва проводников в атмосфере водорода, а НП Cu(CO<sub>2</sub>) – методом электрического взрыва медных проводников в среде CO<sub>2</sub>[4].

Полученные образцы эпоксидных композитов, а также исходные вещества исследованы методом сканирующей электронной микроскопии (JEOL JSM-7500FA, JEM-2100F, TM-3000) и термического анализа (SDT Q600). Для определения физико-механических свойств полученных композитов использовали универсальную испытательную машину GOTECH AI-7000M.

По данным электронной микроскопии (рис. 1, а) нанопорошок Al является полидисперсной системой, состоящей из частиц как микрометрового (~10 мкм) и нанометрового диапазонов. Частицы имеют форму близкую к сферической, с гладкой поверхностью. Имеются отдельные агломераты частиц. На рисунке 1, б представлена фотография НП меди. Частицы порошков меди в нанодисперсной фракции имеют рыхлую поверхность. Частицы порошка борной кислоты НЗВОЗ имеют размер менее 40 мкм и представляют собой чешуйчатые кристаллы, состоящие из плоских слоев толщиной приблизительно 100 нм (рис. 1, в).

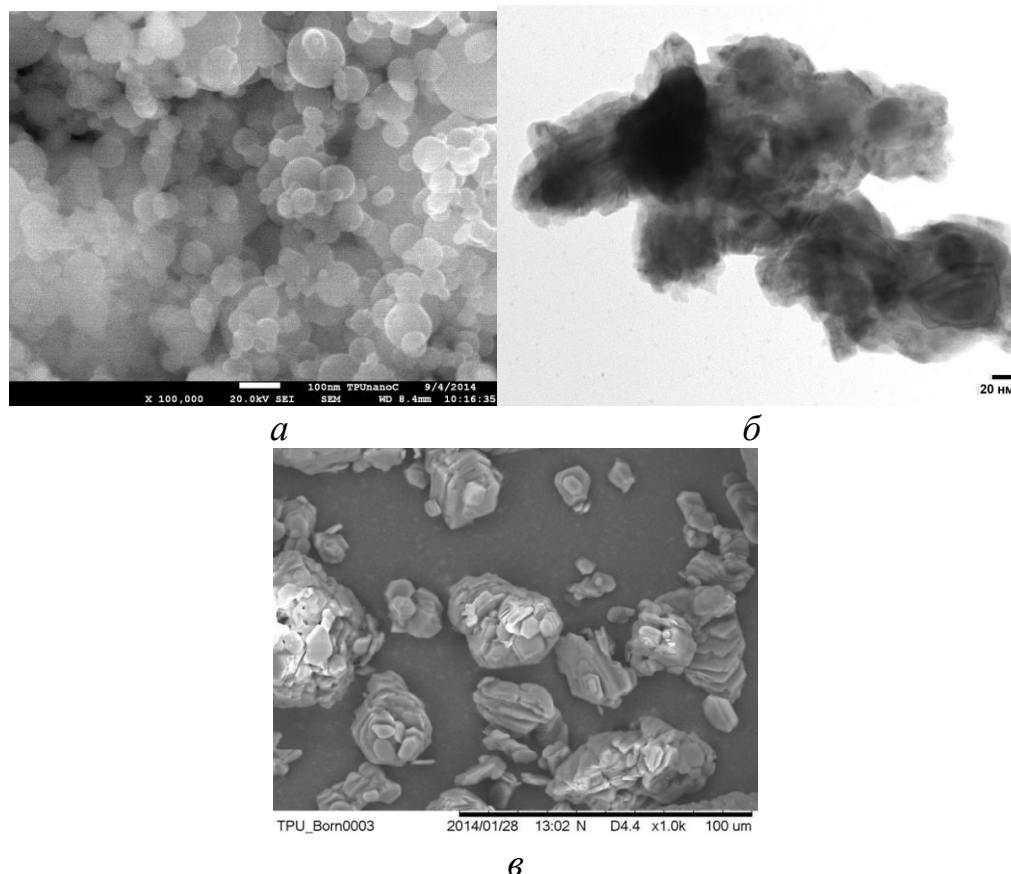


Рис. 1. Микрофотографии нанопорошка алюминия (а), меди (б) и микропорошка борной кислоты (в)

Термическая стабильность образцов исследована с помощью термогравиметрического метода (ТГ) в режиме линейного нагрева со скоростью 10 °С/мин в атмосфере воздуха в диапазоне температур 20–1000 °С. На рис. 2 показана зависимость остаточной массы образцов при нагревании.

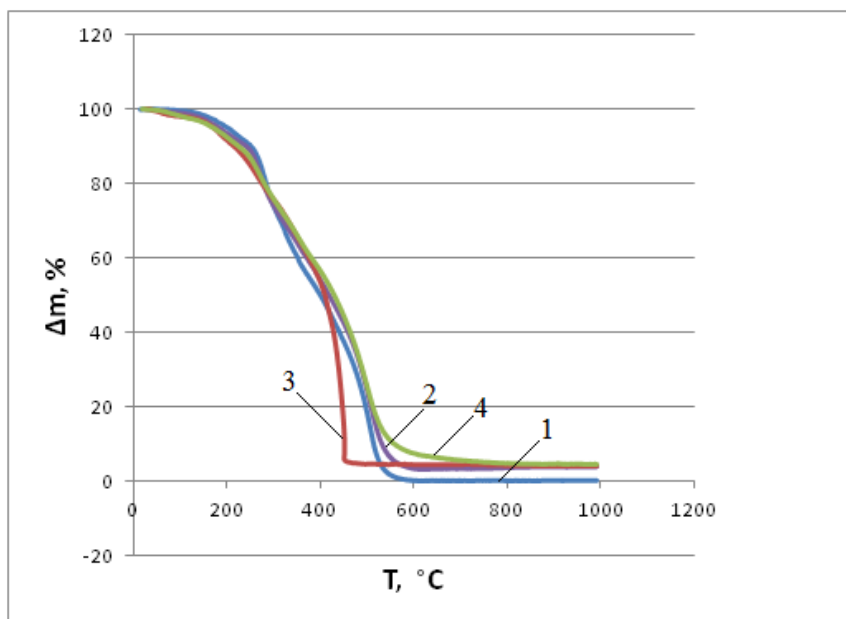


Рис. 2. График зависимости остаточной массы от температуры и наполнителя:

1 – эпоксидная смола, 2 – эпоксидная смола с нанопорошком Al (5%), 3 – эпоксидная смола с нанопорошком Cu(CO<sub>2</sub>) (5%), 4 – эпоксидная смола с нанопорошком Al (5%) и микродисперсным порошком H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> (10%)

По графику можно увидеть, что эпоксидный полимер с нанопорошком алюминия 5% и порошком борной кислоты 10% имеет наибольшую остаточную массу в процессе термоокислительной деструкции.

По данным термического анализа была определена остаточная масса образцов (в мг) при фиксированных температурах - 100, 200, 300, 400, 500 и 600 °С.

Таблица 1  
Остаточная масса образцов при различных температурах, %

Температура, °С	100	200	300	400	500	600
Образец						
1 (Чистая эпокс. смола)	99,53	95,27	74,49	50,39	19,28	0,18
2 (Эп. + Al <sub>NP</sub> 5%)	98,91	93,46	74,02	54,13	24,56	3,41
3 (Эп. + Cu(CO <sub>2</sub> ) <sub>NP</sub> 5%)	98,01	91,72	75,72	53,49	4,40	4,22
4 (Эп. + Al <sub>NP</sub> 5% + H <sub>2</sub> BO <sub>3</sub> 10%)	98,15	92,43	75,84	56,63	25,76	7,60

На рис. 3 представлена зависимость остаточной массы образцов при температуре окончания основной стадии термоокислительной деструкции – 600°С.

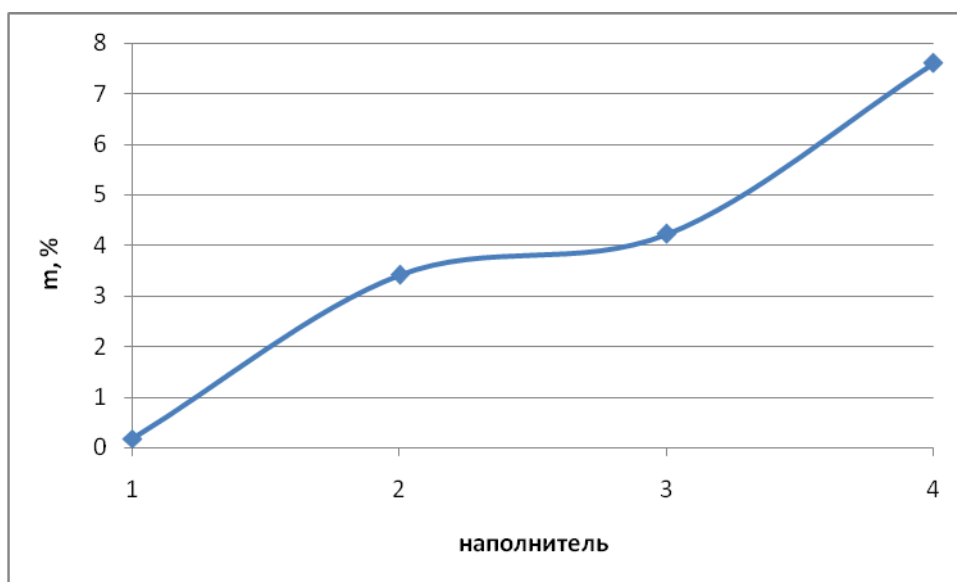


Рис. 3. Зависимость остаточной массы образца от наполнителя:

1 – эпоксидная смола; 2 – эпоксидная смола с НП Al (5%); 3 – эпоксидная смола с НП  $\text{Cu}(\text{CO}_2)$  (5%); 4 - эпоксидная смола с НП Al (5%) и порошком  $\text{H}_3\text{BO}_3$  (10%)

Из анализа полученных результатов термических испытаний можно сделать вывод о положительном влиянии наполнителей на термическую стабильность эпоксидных полимеров. По графику наглядно видно, что наибольшую термическую стойкость имеет образец под номером 4 - с 5% НП Al и полидисперсным порошком  $\text{H}_3\text{BO}_3$  концентрацией 10%. При температуре 600 °C он имеет остаточную массу на 3,38 % больше, чем образец с нанопорошком  $\text{Cu}(\text{CO}_2)$  и на 4,19% больше, чем образец с такой же концентрацией алюминия, но без добавления борной кислоты. Образец без добавления наполнителя имеет наименьшую остаточную массу.

Далее были проведены механические испытания образцов на установке А1-7000М. Сущность метода заключается в том, что образец, свободно лежащий на двух опорах, кратковременно нагружали в середине между опорами. Скорость относительного перемещения нагружающего наконечника установили 1 мм/мин. По результатам испытания выявлено, что наилучшие физико-механические характеристики наблюдаются у образца с НП Al (5%) и порошком  $\text{H}_3\text{BO}_3$  (10%).

По результатам испытаний можно сделать вывод, что эпоксидный полимер с нанопорошком Al (5%) и микродисперсным порошком  $\text{H}_3\text{BO}_3$  (10%) проявляет наилучшую термическую стабильность среди образцов с другими наполнителями, представленными в работе. Использование НП Al совместно с порошком  $\text{H}_3\text{BO}_3$  приводит к улучшению механических характеристик, поскольку полученный композит лучше противостоит деформации.

### Список литературы:

1. Кодолов В.И. Замедлители горения полимерных материалов. – М.: Химия, 1980. – 274 с.
2. Абелиов Я.Л. Наполнители для теплопроводящих клеев // Клеи. Герметики. Технологии. – 2005. – № 8. – С. 26–27.
3. Хозин В. Г. Усиление эпоксидных полимеров. – Казань: ПИК «Дом печати», 2004. – 446 с.
4. Амелькович Ю.А., Назаренко О.Б., Сечин А.И. Контроль термической устойчивости нанодисперсных металлов // Контроль. Диагностика. – 2013. – № 13. – С. 192–195.