

**ВЛИЯНИЕ НАНОПОРОШКА АЛЮМИНИЯ НА ТЕРМИЧЕСКУЮ СТОЙКОСТЬ И  
МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИТОВ**

Т.В. Мельникова, К.О. Фрянова, В.М. Путенпуракалчира

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

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: tatkamel93@mail.ru

**EFFECT OF ALUMINUM NANOPOWDER ON THERMAL STABILITY AND MECHANICAL  
CHARACTERISTICS OF EPOXY COMPOSITES**

T.V. Melnikova, K.O. Fryanova, V.M. Puthenpurakalchira

Scientific Supervisor: Prof., Dr. O.B. Nazarenko

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: tatkamel93@mail.ru

*The thermal and mechanical characteristics of epoxy composites were studied. Epoxy composites were prepared using epoxy resin ED-20, aluminum nanopowders and boric acid fine powder as flame-retardant filler. It was found that the incorporation of aluminum nanopowders and boric acid fine powder enhances the thermal stability and mechanical characteristics of epoxy composites.*

Эпоксидные смолы обладают высокой адгезионной способностью, химической стойкостью, хорошими механическими свойствами, благодаря чему они находят широкое применение в промышленности, в том числе в качестве клеев. В то же время, эпоксидные полимеры характеризуются низкой термостойкостью и повышенной горючестью. 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 нанопорошка алюминия на термическую стабильность и механическую прочность эпоксидных композитов.

Для получения эпоксидных композитов использовали эпоксидиановую смолу ЭД-20, отверждение проводили с помощью полиэтиленполиамина, а в качестве наполнителя – нанодисперсный порошок алюминия (НП Al) и высокодисперсный порошок борной кислоты. Концентрация НП Al составляла 5 мас. %, борной кислоты ( $H_3BO_3$ ) – 10 мас. %. НП Al был получен методом электрического взрыва проводников в атмосфере водорода [4]. Полученные образцы эпоксидных композитов, а также исходные вещества исследованы методами рентгенофазового анализа (РФА) (Shimadzu XRD-7000), сканирующей электронной микроскопии (JEOL JSM-7500FA, TM-3000), ИК-спектроскопии (Nicolet 5700), термического анализа (SDT Q600). Для определения физико-механических свойств полученных композитов использовали универсальную испытательную машину GOTECH AI-7000M.

Поверхность НП Al покрыта оксидно-гидроксидной защитной оболочкой, сформированной в процессе пассивирования воздухом непосредственно после получения и предохраняющей наночастицы металла от дальнейшего окисления при хранении. Согласно данным РФА в НП Al присутствует только фаза металлического алюминия, рентгенофазовые фазы оксидов при помощи РФА не определяются. ИК-спектроскопические исследования подтверждают наличие оксидно-гидроксидных функциональных групп на поверхности частиц НП Al [4].

По данным электронной микроскопии (рис. 1, а) НП Al является полидисперсной системой, состоящей из частиц как микрометрового (~10 мкм) и нанометрового диапазонов. Форма частиц близка к сферической с гладкой поверхностью, имеются отдельные агломераты частиц. Частицы порошка борной кислоты имеют размер менее 40 мкм и представляют собой чешуйчатые кристаллы, состоящие из плоских слоев толщиной приблизительно 100 нм (рис. 1, б).

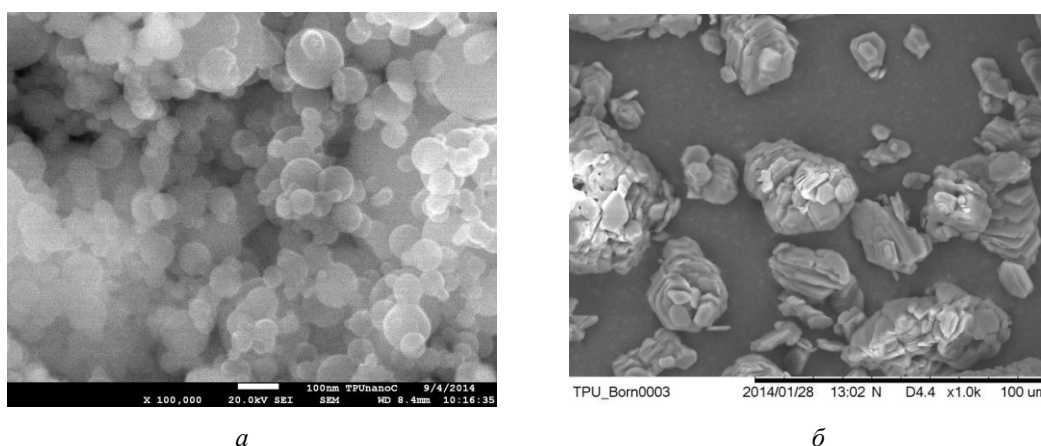


Рис. 1. Микрофотографии нанопорошка алюминия (а) и борной кислоты (б)

Термическая стабильность полученных образцов исследована 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.

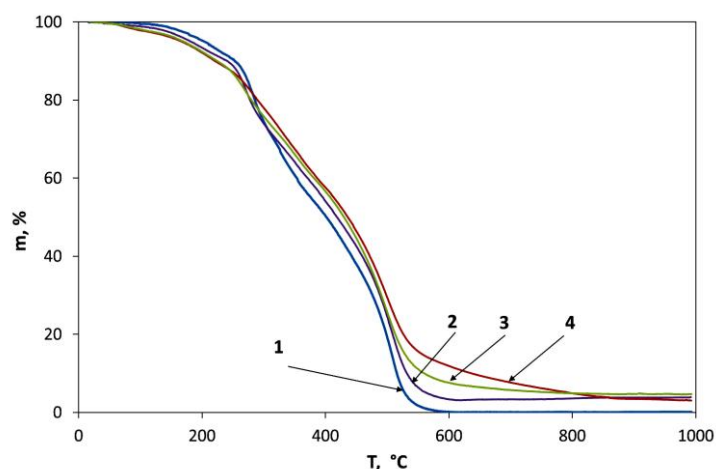


Рис. 2. Зависимость изменения массы образцов от температуры: 1 – эпоксидный полимер; 2 – эпоксидный полимер + 5%НП Al; 3 – эпоксидный полимер + 5%НП Al + 10%Н<sub>3</sub>ВО<sub>3</sub>; 4 – эпоксидный полимер + 10%Н<sub>3</sub>ВО<sub>3</sub>

Данные термического анализа показывают, что введение НП Al оказывает положительное влияние на термическую стабильность образцов. Так, температура, при которой потеря массы составляет 50 % для наполненного НП Al образца на 18 °С выше, чем для ненаполненного. Остаточная масса при 600 °С составляет 3,4 %, в то время как ненаполненный образец разлагается полностью. Влияние высокодисперсных порошков борной кислоты на термическую стойкость эпоксидных композитов изучено ранее [5]. Совместное использование НП Al и борной кислоты приводит к существенному повышению показателей: температура 50 %-ной потери массы на 29 °С выше, чем у ненаполненного образца, а остаточная масса составила 7,6 %.

Физико-механические испытания на изгиб проводились по стандарту ISO 178:2010. Результаты, полученные после проведения физико-механических испытаний, представлены в табл. 1. Из данных табл. 1 видно, что наполненные образцы имеют более высокие механические показатели.

*Таблица 1*

*Физико-механические показатели образцов*

Показатель	Эпоксидный полимер	Эпоксидный полимер + 10%Н <sub>3</sub> ВO <sub>3</sub>	Эпоксидный полимер + 5%НП Al	Эпоксидный полимер + 5%НП Al + 10%Н <sub>3</sub> ВO <sub>3</sub>
Модуль упругости при изгибе, МПа	570	902	1248	1380
Максимальная сила, кгс	8,9	8,7	11,9	11,1

В данной работе показано, что сочетание таких наполнителей как нанодисперсный алюминий и борная кислота приводит к выгодному улучшению термических и механических характеристик. Введение в полимер нанодисперсных частиц алюминия обеспечивает формирование мелкокристаллической и менее дефектной структуры полимера, приводит к снижению кинетической подвижности макромолекул, что наряду с такими факторами как наличие поверхностных оксидно-гидроксидных соединений и высокое значение теплопроводности алюминия приводит к установленным в работе эффектам.

#### 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.
5. Амелькович Ю.А., Назаренко О.Б., Мельникова Т.В. Оценка влияния наполнителя на термическую стабильность эпоксидных композитов // Контроль. Диагностика. – 2014. – № 13. – С. 46–50.