

УДК 641

**ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СИНТАКТИКОВЫХ  
КОМПОЗИТОВ<sup>1</sup>**Корохин Р.А.<sup>1</sup>, Солодилов В.И.<sup>1</sup>, Горенберг А.Я.<sup>1</sup>,Куперман А.М.<sup>1</sup>, Байков А.В.<sup>2</sup><sup>1</sup>*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт химической физики им. Н.Н. Семенова РАН, Москва, korohinra@gmail.com*<sup>2</sup>*ОАО «НПО Стеклопластик»*

В работе исследованы синтактиковые композиты на основе эпоксидной смолы и полых стеклянных микросфер, содержание которых в полимере составляло 30-70 %. Показано, что при динамическом нагружении идет значительное снижение физико-механических характеристик с увеличением концентрации наполнителя. При этом расчет полной энергии разрушения образцов демонстрирует, что для синтактиков происходит снижение, а для сэндвич-панелей повышение данной характеристики, что связано с вкладом обкладок для второго типа образцов в данный параметр. Исследование трещиностойкости также демонстрирует значительное снижение параметра  $G_{IR}$  с ростом концентрации стеклосфер.

Использование полых стеклянных микросфер, как наполнителей полимеров – перспективный путь создания таких конструкционных элементов, как сэндвич-панели, где наполненные полимеры имеют ряд существенных преимуществ, по сравнению с сотами и пенопластами, а именно – более высокие показатели удельных физико-механических характеристик [1].

---

<sup>1</sup> Работа выполнена в рамках Темы № 45.11 Государственного задания ФАНО России (№ темы ФАНО: 0082-2014-0009, № гос. регистрации: АААА-А17-117040610309-0)

Цель данной работы – исследовать физико-механические характеристики синтактиков с содержанием стеклосфер 30-70 % и сэндвич-панели на их основе. Эпоксидные полимеры, модифицированные стеклосферами нагружали по трехточечной схеме при динамических скоростях (1,2-5,4 м/с) для определения прочностных характеристик при ударе. Образцы, представлявшие собой сэндвич-панели (толщина обкладок 2 мм), так же испытывали при низкоскоростном ударе. Кроме того, исследовали их трещиностойкость на образцах в виде двутавра.

После проведения испытаний поверхность разрушенных образцов исследовали с помощью электронной микроскопии.

В качестве материалов для изготовления образцов использовались эпоксидная смола ЭД-20 (отвердителем служил алкофен). Наполнителем служили полые стеклянные микросферы марки МСВП-9А ( $\rho=0,24$  г/см<sup>3</sup>).

Для динамических нагружений наполненных эпоксидов применялись образцы размером 7х7х40 мм, размеры сэндвич-панелей – 7х8х40 мм, расстояние между опорами, в обоих случаях составляло 32 мм. Для синтактиков рассчитывали прочность при изгибе ( $\sigma$ ) и полную энергию разрушения ( $E_c$ ). Для сэндвичей рассчитывали прочность при сдвиге синтактикового заполнителя ( $\tau$ ), прочность обкладок и полную энергию разрушения ( $E_{c-п}$ ).

Прочность синтактиков при изгибе ( $\sigma$ ) монотонно снижается с увеличением содержания стеклосфер (рис. 1) с 95 МПа до 35 МПа, что наблюдалось и в других исследованиях [2]. Подобная тенденция наблюдается и для полной энергии разрушения образцов (энергия уменьшается с 13 до 3 кДж/м<sup>2</sup>). При этом, при нагружении со скоростью 1,2 м/с, разрушения образцов, содержащих 30 % стеклосфер, не происходит. Это может быть связано с тем, что при увеличении содержания наполнителя происходит уменьшение полимерного слоя и, соответственно, охрупчивание материала, что и приводит к уменьшению воспринимаемых нагрузок.

Кроме того, в исследованном диапазоне скоростей значения прочности и энергии разрушения практически не зависят от скорости нагружения образцов.

При испытании образцов сэндвич-панелей разрушения при скорости нагружения 1,2 м/с не происходит при всех концентрациях стеклосфер, при 2,6 м/с разрушаются лишь образцы, содержащие 70 % стеклосфер (что связано с высокой, относительно заполнителя, прочностью стеклопластиковых обкладок), при этом значения  $\tau$  и  $E_{с-п}$  составляют 34 МПа и 310 кДж/м<sup>2</sup> соответственно. Как и в случае с образцами синтактиков, с увеличением концентрации происходит снижение прочности (но в данном случае, прочности при сдвиге), что показано на рис. 2.

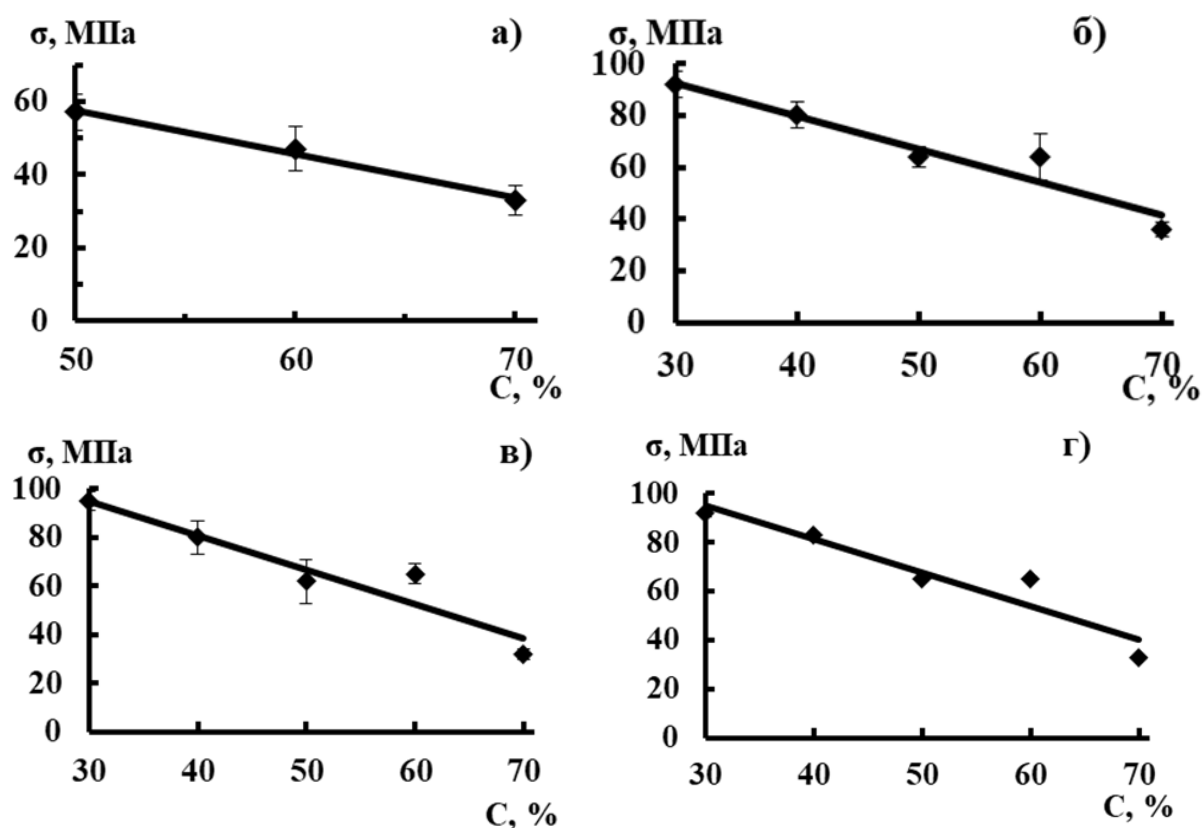


Рис. 1. Зависимость прочности синтактиков от концентрации стеклосфер при скоростях нагружения 1,2 м/с (а), 2,6 м/с (б), 4 м/с (в) и 5,4 м/с (г).

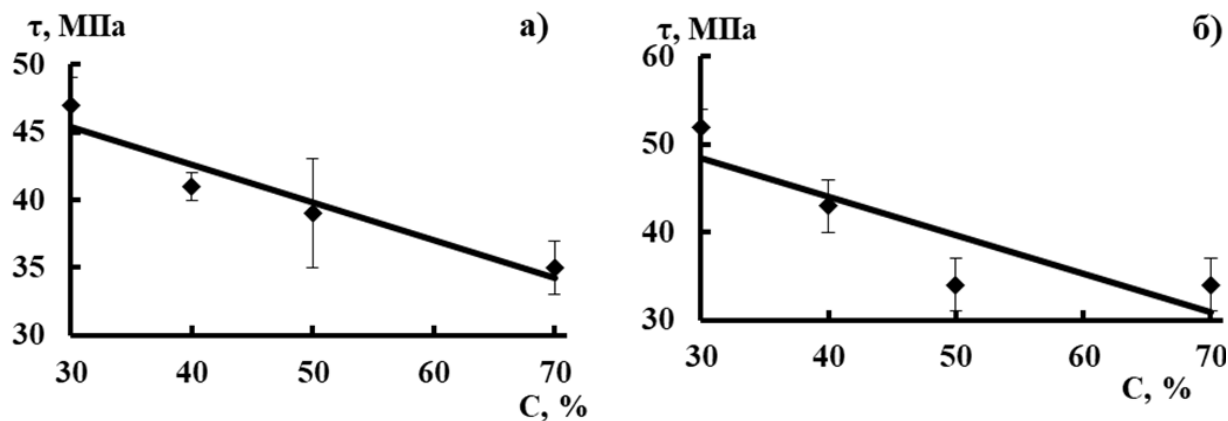


Рис. 2. Зависимость прочности заполнителя сэндвич-панелей при сдвиге от концентрации стеклосфер: скорости нагружения 4 м/с (а) и 5,4 м/с (б).

Подобная зависимость связана не только, как и в случае испытания синтактиков, с охрупчиванием, но и с увеличением вероятности контакта поверхности стеклосфер с обкладками сэндвич-панелей. В свою очередь, энергия при разрушении образцов имеет тенденцию к росту (рис. 3). Это связано с тем, что в процессе испытания помимо синтактикового заполнителя нагрузку воспринимают также и стеклопластиковые обкладки, для разрушения которых требуется больше энергии (основная её часть при ухудшении прочностных характеристик приходится именно на них).

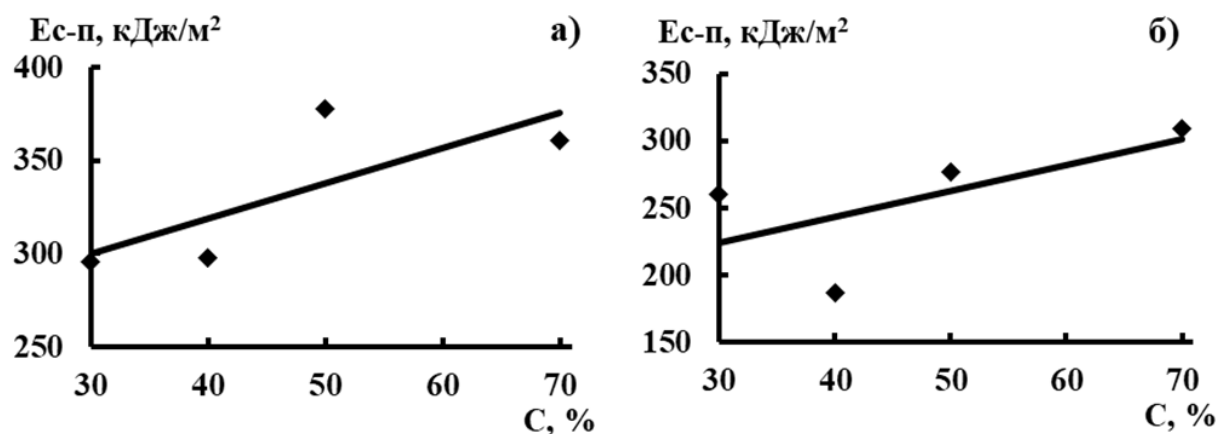


Рис. 3. Зависимость энергии разрушения сэндвич-панелей от концентрации стеклосфер при скоростях нагружения 4 м/с (а) и 5,4 м/с (б).

На рис. 4 показана трещиностойкость синтактиковых композитов. Видно, что значения  $G_{IR}$  с ростом концентрации стеклосфер уменьшаются более чем в 3 раза (с 0,92 до 0,28 кДж/м<sup>2</sup>).

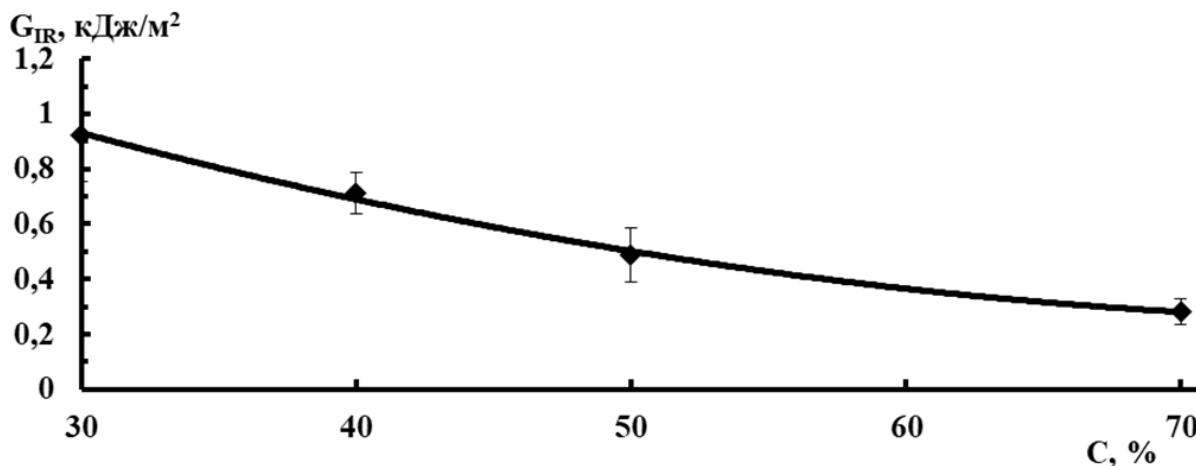


Рис. 4. Трещиностойкость синтактиковых композитов.

Тенденция к снижению значений с ростом концентрации наполнителя наблюдалась и для прочности при динамическом нагружении (по трехточечной схеме, см. рис. 1), и связана с охрупчиванием материала.

Таким образом, как и в прежних исследованиях [3] сохраняется тенденция к снижению физико-механических характеристик синтактиковых композитов при различных типах испытаний, при этом, происходящее утоньшение полимерного слоя, которое подтверждается электронной микроскопией, приводит к ухудшению физико-механических характеристик и охрупчиванию материала.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кац Г.С., Милевски Д.В. (ред.). Наполнители для полимерных композиционных материалов. Справочное пособие: пер. с англ. - М.: Химия, 1981. - 736 с.

2. *Соколов И.И., Минаков В.Т.* /Сферопластики авиационного назначения на основе эпоксидных клеев и дисперсных наполнителей/ Клеи. Герметики. Технологии. 2012. №5. С.22-26.
3. *Kuperman A.M., Turusov R.A.et al.* /Shear Elastic and Strength Characteristics of Syntactics Based on Hollow Glass Microspheres/ Mechanics of Composite Materials. 2015, V.50(6), P.705–716.