

О ВЛИЯНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ ОТВЕРЖДЕНИЯ СТЕКЛОПЛАСТИКОВ НА ХАРАКТЕР РАЗРУШЕНИЯ

Г.Н. Губанова, А.М. Лексовский,
К.Л. Муборакшоев, Ю.А. Горбаткина,
В.Г. Иванова-Мумжиева, А.М. Куперман

Метод акустической эмиссии является наиболее перспективным методом для изучения механизма разрушения волокнистых композиционных материалов (ВКМ), что чрезвычайно важно для целей конструирования материалов и для предсказания разрушения. В частности, с помощью метода акустической эмиссии (АЭ) возможно выявление очага разрушения композиционного материала в зависимости от технологических параметров [1].

Задача данной работы – установить характер разрушения ВКМ в зависимости от температуры отверждения.

Исследовались эпоксидные стеклопластики на основе связующего ЭДТ – 10 и стеклянных волокон состава ВМ – 1 с диаметром 10 мкм, полученных методом намотки в виде колец диаметром 150 мм, толщиной 1 мм, шириной 10 мм. Время отверждения выбиралось таким, что при каждой температуре отверждения связующее достигало максимально возможной глубины отверждения – α_{∞} (степени конверсии эпоксидных групп).

Приготовленные образцы испытывались на разрывной машине 1231 У-10 с одновременным использованием системы локализации сигналов АЭ с ЭВМ на линии [2] со скоростью деформирования 0,22 мм/мин. Выбор медленных скоростей деформирования определялся быстродействием регистрирующей аппаратуры. При больших скоростях нагружения вследствие большой интенсивности сигналов возможны перекрытия двух идущих друг за другом сигналов с малыми временными интервалами.

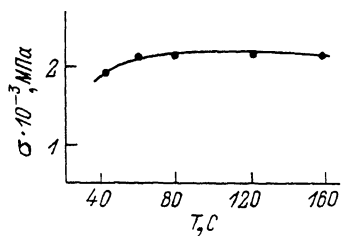


Рис. 1. Зависимость прочности стеклопластиков от температуры отверждения.

При исследовании процессов деформирования и перехода к макроразрушению использовались такие параметры акустической эмиссии, как активность \dot{N} – число сигналов АЭ в единицу времени и мощность сигналов АЭ – \dot{W} ,

т. е. количество разорванных волокон в единицу времени. Параметры акустической эмиссии зависят от условий приготовления ВКМ, характеристик матрицы, волокна, состояния границ раздела волокно-матрица.

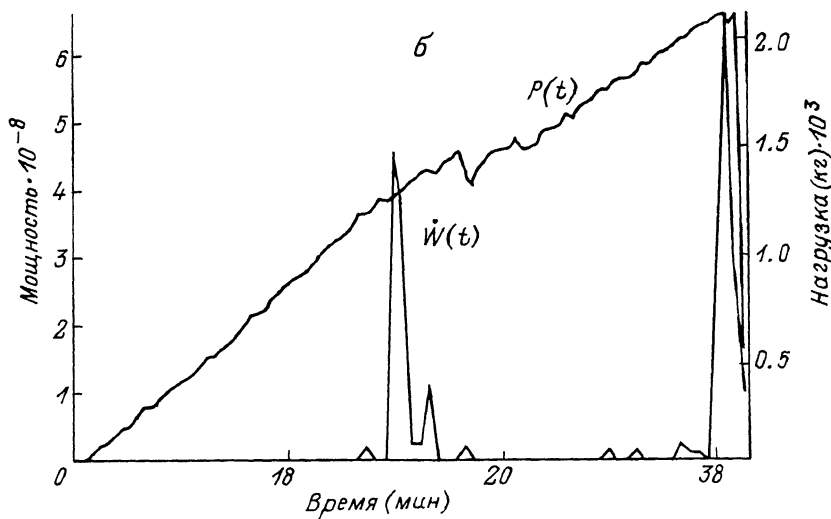
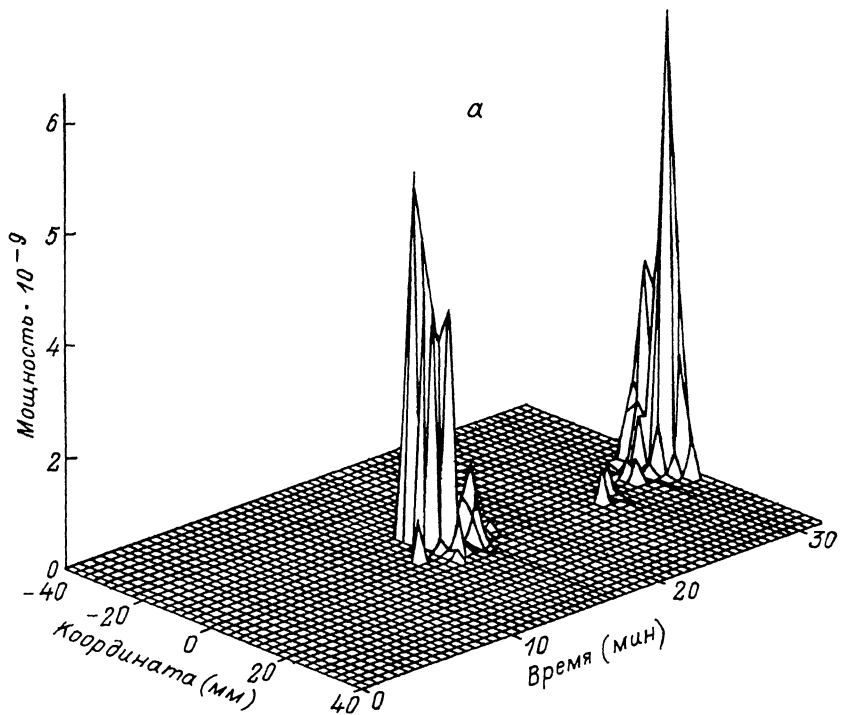
В работе были исследованы образцы стеклопластика с температурой отверждения 40, 60, 80, 120, 160 °С.

На рис. 1 показана зависимость прочности образцов стеклопластика от температуры отверждения. Образцы с температурой отверждения 40 °С показали наименьшую прочность и обладали значительным макрорасслоением, которое для некоторых образцов начиналось на уровне 0,5 от всего времени деформирования образцов. При переходе через точку с температурой отверждения 60 °С характер разрушения стеклопластика меняется, макрорасслоения не наблюдается. Образцы стеклопластика с температурными отверждениями выше 60 °С мало отличаются от прочности и лишь в одной из серий наблюдался максимум прочности при температуре отверждения 60 °С.

В процессе разрушения стеклопластиков, пользуясь методом акустической эмиссии, мы отчетливо различаем два этапа деформирования. На первом этапе деформирования наблюдается равномерное накопление разрывов волокон. По мере деформирования процесс разрушения переходит во вторую стадию: в одном из сечений образца начинается разрушение преимущественно групп волокон с нарастающей степенью кооперативности, т. е. формируется очаг разрушения.

В зависимости от температуры отверждения образцов характер развития очага разрушения меняется. Длительность развития очага разрушения зависит от постепенного истощения энергоемкости системы и выделяемой мощности энергии упругой деформации [3]. В нашем случае максимальное значение длительности развития очага имеют образцы с температурой отверждения 60 °С, равное 15% от времени деформирования образца. Близкое значение длительности развития очага разрушения имеют образцы с температурой отверждения 160 °С и меньшее ~ 10% образцы с температурой отверждения 80 °С.

Рис. 2. а – зависимость мощности сигналов АЭ от деформации и координаты для образца с температурой отверждения 40 °С, б – зависимость мощности сигналов АЭ (\dot{W}) и нагрузки (\dot{P}) от времени деформирования для образца с температурой отверждения 40 °С.



Согласно [1], макроразрушение наступает вследствие превышения мощности выделения энергии упругой деформации над энергоемкостью системы. Образцы с температурой отверждения 60 °С за более длительный промежуток времени деформирования исчерпывали свою диссипативную способность, нежели те из оставшихся серий образцов, на которых не наблюдалось макрорасслоения (т. е. все, кроме образцов с температурой отверждения 40 °С).

Максимальные значения мощности сигналов АЭ близки для температур отверждения 60 и 160 °С и более чем в два раза меньше мощности АЭ для образцов с температурой отверждения 80 °С.

Образцы, изготовленные при температуре отверждения 40 °С, как уже отмечалось, обнаруживали сильное макрорасслоение. Каждому расслоению соответствует формирование своего очага разрушения, приводящего к окончательному разрыву образца. На рис. 2, а представлена трехмерная диаграмма мощности АЭ для образца с температурой отверждения 40 °С, отчетливо видно формирование двух очагов разрушения. Максимальное значение мощности АЭ для образцов этой серии не превосходит мощности АЭ для образцов с температурой отверждения 160 и 60 °С.

На рис. 2, б представлены зависимости мощности сигналов АЭ $\dot{W}(t)$ и кривая нагружения $\rho(t)$ от времени деформирования для образцов с температурой отверждения 40 °С (трехмерная диаграмма мощности на рис. 2, а). Обращает на себя внимание спад на кривой нагружения при $\epsilon = 0.6 \epsilon_p$. В эксперименте с образцами, отвержденными при температуре 40 °С, такому спаду предшествует мощный звуковой сигнал, и наблюдается разрушение отслоившейся части образца. Максимум же в группе сигналов АЭ в данной области деформирования не соответствует скачку на кривой нагружения. По-видимому, здесь мы сталкиваемся с ограниченностью методики регистрации сигналов АЭ с помощью резонансных датчиков, и появляется необходимость привлечения частотного анализа сигналов АЭ [4].

Таким образом, температура отверждения оказывает влияние не только на значение прочности стеклопластиков, но и на характер разрушения, а именно: на наличие или отсутствие макрорасслоения образца, длительность формирования очага разрушения, темп развития очага разрушения.

Л и т е р а т у р а

- [1] Л е к с о в с к и й А.М. – В сб.: Кинетика деформирования и разрушения композиционных материалов. Л., 1983, с. 112–132.
- [2] Р ж е в к и н В.Р., О р л о в Л.Г. – В сб.: Механизмы повреждения и прочности гетерогенных материалов, Л., 1985, с. 209–211.
- [3] А х у н о в Р.М., А з и м о в Ш.Ш., Н а р з у л л а е в Г.Х. – В сб.: Кинетика деформирования и разрушения композиционных материалов, Л., 1983, с. 190–201.

[4] Брагинский А.П. – В сб.: Механизмы повреждаемости и прочность гетерогенных материалов, Л., 1985, с. 123–128.

Физико-технический институт
им. А.Ф. Иоффе АН СССР,
Ленинград

Поступило в Редакцию
9 сентября 1987 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 5

12 марта 1988 г.

УСИЛЕНИЕ ФОТОТОКА В ИЗОТИПНОЙ СТРУКТУРЕ $n-n$ $GaSb-GaInAsSb$

И.А. Андреев, А.Н. Баранов,
М.А. Мирсагатов, М.П. Михайлова,
А.А. Рогачев, Г.М. Филаретова,
Ю.П. Яковлев

В настоящей работе сообщается об обнаружении значительного усиления фототока в изотипных p^+ - n гетероструктурах на основе $GaSb-GaInAsSb$, обусловленного особенностями гетерограницы второго типа. В гетеропереходе второго типа скачки потенциала в зоне проводимости и валентной зоне на гетерогранице имеют один и тот же знак [1], что приводит к специфическим особенностям в свойствах полупроводниковых приборов, созданных на основе таких структур [2].

Исследуемые структуры изготавливались методом ЖФЭ. В качестве подложки использовался $p-GaSb \langle 111 \rangle$ В, легированный Te , с концентрацией носителей заряда $n = 6 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$. Узкозонный эпитаксиальный слой не легировался, концентрация носителей заряда в $p-GaInAsSb$ ($E_g = 0.52$ эВ) составляла $5 \cdot 10^{15} - 10^{16} \text{ см}^{-3}$, толщина 2–3 мкм. Для создания омического контакта далее выращивался слой легированного $p^+ GaInAsSb$ того же состава толщиной 2 мкм с концентрацией $\sim 5 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ (см. рис. 1).

Как показали рентгенографические исследования, структуры $GaSb-GaInAsSb$ были изопериодными – рассогласование постоянных решетки $\frac{\Delta a}{a} \approx 10^{-3} \%$. Омические контакты наносились вжиганием сплава $In+Te$. Структуры изготавливались в виде мезодиодов с диаметром чувствительной площадки $\varnothing = 300$ мкм.

Исследовалось спектральное распределение фоточувствительности, вольт-амперные характеристики, а также зависимость фототока от напряжения смещения и интенсивности излучения при $T = 296$ и 78 К. Спектры снимались на монохроматоре $SPM-2$ с глобаром в качестве источника излучения.

Вольт-амперные характеристики структур имели диодный характер (рис. 2, врезка). При интенсивной засветке наблюдалось спрямление характеристик вплоть до омических ($\rho > 10^{-3}$ Вт). Харак-