

УДК 541(64+183)

ИЗУЧЕНИЕ МОДИФИКАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ СТЕКЛЯННЫХ ВОЛОКОН СИЛАНОВЫМИ АППРЕТАМИ И ЕЕ ВЛИЯНИЯ НА ПРОЧНОСТЬ ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА И СВОЙСТВА ПОЛИПРОПИЛЕНОВЫХ СТЕКЛОПЛАСТИКОВ¹

© 1995 г. А. Н. Зеленецкий, Ю. А. Горбаткина, А. М. Куперман,
О. Н. Пирогов, М. А. Товмасян, К. А. Денисов, И. А. Васильев

Институт химической физики им. Н.Н. Семёнова Российской академии наук
117977 Москва, ул. Косягина, 4

Поступила в редакцию 16.05.94 г.

Показано, что метод озонометрии может с успехом использоваться для количественного анализа функциональных групп, образующихся на поверхности стеклянных волокон после поликонденсации на них силановых аппретов. Создана установка и разработана методика озонометрических измерений. Изучение предложенным методом состояния поверхности стеклянных волокон, модифицированных винил- и аминосиланами, показало большую эффективность обработки поверхности винилтриэтилоксисиланом. Использование винилтриэтилоксисилана ведет к увеличению прочности сцепления стеклонитей с полипропиленовой матрицей и к повышению вязкости разрушения полипропиленовых композитов.

В последние годы интенсивно исследуют явления на границе раздела между полиолефинами и стеклом [1 - 3]. Это связано с тем, что стеклопластики с матрицами на основе полиолефинов признаны перспективными композитами [4].

Для улучшения прочности границы раздела между полиолефинами и стеклянными волокнами поверхность последних модифицируют различными силановыми аппретами. Обычно для этой цели используют силаны с непредельными функциональными группами, как правило винильными или метакрильными (например, винилтриэтилоксисилан (ВТЭС) или метакрилтиэтилоксисилан) и аминосиланы (например, γ -аминопропилтриэтилоксисилан (АПС)) [5]. При изготовлении композитов в присутствии инициаторов радикальных реакций происходит прививка полиолефинов к непредельным группам силоксановых трехмерных сеток, образующихся на поверхности стекла в результате поликонденсации силанов [6].

Поликонденсация алкилтриэтилоксисиланов – сложный многостадийный каталитический процесс. Количество хемосорбированного силана и структура образующейся трехмерной силоксановой сетки зависят от структуры силана, типа поверхности волокон и условий реакции [5]. Для получения стабильных результатов необходим надежный контроль состояния поверхности стекловолокна (СВ), обработанного силановыми аппретами. Этому препятствует отсутствие в настоящее время доступного и высокочувствительного метода анализа функциональных групп си-

лановых аппретов, хемосорбированных на поверхности СВ.

Применяемый метод меченых атомов [5] из-за своей сложности непригоден для повседневного анализа обычных промышленных образцов СВ, поэтому разработка простого и чувствительного метода для количественного анализа аппретированных поверхностей наполнителей имеет не только научное, но большое практическое значение.

В настоящей работе показано, что для этой цели можно успешно применять метод озонолиза. Работа посвящена развитию данного метода и использованию его для выбора аппретов, эффективно улучшающих прочность границы раздела и свойства полиолефиновых стеклопластиков.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

В качестве стекловолокнистых наполнителей использовали стеклянные моноволокна с диаметрами 120 - 200 мкм, вытянутые из фильер стеклоплавильного сосуда вручную, и многофиламентные нити и жгуты промышленного производства, покрытые замасливателем № 80 с диаметром моноволокон 10 - 12 мкм.

Для удаления загрязнений и замасливателей волокна и нити перед аппретированием отжигали в муфельной печи при 500°C в течение 3 ч, затем охлаждали, смачивали дистиллированной водой и сушили при 80 - 90°C.

Аппреты (ВТЭС и АПС) наносили на поверхность волокон из водных растворов или растворов в бензole.

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 95-03-08).

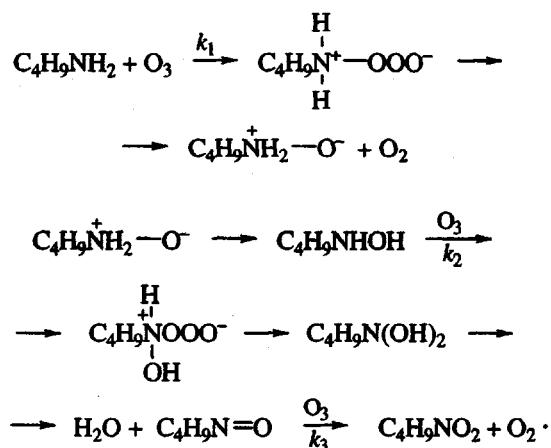
Перед изготовлением образцов стеклопластиков жгут обрабатывали раствором ВТЭС (1%-ный раствор в бензole), но не прокаливали в муфеле. В качестве катализатора поликонденсации ВТЭС на поверхности СВ использовали водные растворы уксусной кислоты (pH 4), а в бензольных растворах – метилимидазол (0.3%).

Поверхность СВ обрабатывали без специально добавленных катализаторов водными и бензольными растворами АПС.

Гидролиз и поликонденсацию ВТЭС и АПС, хемосорбированных на поверхности СВ, производили водяным паром в воздушном термостате при 90°C в течение 30 мин. В качестве матрицы использовали порошок ПП с индексом расплава 1.15 г/10 мин и температурой плавления 168°C.

Замасливатель № 80, которым покрыты волокна, используемого в работе стекложгута, содержит в своем составе около 1% АПС.

Использованный в работе метод озонолиза основан на измерении концентрации озона в озон-кислородной смеси после ее контакта с поверхностью стеклянных волокон, аппретированных алкилсиликанами с двойными связями и аминогруппами. Константы скорости реакции озона с первичными аминами достигают 10³, а для олефинов даже 10⁶ л/моль с [7]. С кислородсодержащими органическими соединениями и насыщенными углеводородами озон реагирует значительно медленнее. Константы скорости реакции озона с этими классами соединений соответственно равны 10 и 1 - 0.1 л/моль с [7]. Такое большое различие в реакционноспособности озона по отношению к перечисленным выше классам органических соединений позволяет при анализе кинетической кривой легко определить количество озона, вступившего непосредственно в реакцию с функциональными группами, из общего количества озона, израсходованного в ходе процесса. Известно, что одна молекула озона реагирует с одной двойной связью с образованием относительно стабильных озонидов. С первичными аминами реакция озона происходит значительно сложнее – с одной молекулой амина реагирует три молекулы озона



Теория озонолиза и озонометрии детально описана в монографии [7].

В многостадийном процессе реакции озона с первичными аминами реакция с первой молекулой озона – наиболее медленная стадия. Поэтому наблюдаемая в опыте константа скорости реакции характеризует именно первую стадию. Основное условие применимости метода – реакция должна проходить в кинетической области. Очень низкая концентрация озона в смеси (6 - 8) × 10⁻⁶ моль/л и проточная система как правило обеспечивают это условие в достаточно широких пределах.

Возможность диффузионных ограничений скорости реакции озона с аппретированными поверхностями стеклянных волокон обусловлена многослойной структурой силоксановой сетки. В кинетической области без диффузионных ограничений реагируют в основном только наружные слои трехмерной силоксановой сетки, поэтому наблюдаемые константы скорости реакции могут быть близки к табличным значениям только в начале опыта, а затем быстро уменьшаются во времени. Тем не менее большое различие в реакционной способности анализируемых функциональных групп и насыщенных углеводородов позволяет с хорошей воспроизводимостью определять количество силанов, достаточное для образования ~15 монослоев поверхности стеклянных волокон. Поверхность образцов стеклянных волокон анализировали на приборе АДС-4М, который спроектирован и изготовлен на опытном заводе научного приборостроения Российской академии наук. Низкая и постоянная концентрация озона в потоке кислорода достигается в результате облучения потока ртутной лампой. Прибор оборудован простейшим монохроматором с фотодиодом, что позволяет контролировать концентрацию озона по изменению оптической плотности озон-кислородной смеси. Коэффициент экстинкции озона для длины волн 2580 Å равен 1830 л/моль см. Высокая чувствительность метода позволяет определять ничтожно малые количества (порядка 10⁻⁹ - 10⁻¹⁰ моля) аминов и олефинов. Прибор калибровали растворами стильтбена в специально очищенном CCl₄ соответствующих концентраций. Навеску аппретированных стекловолокон порядка 0.05 - 0.15 г помещали в стеклянную реакционную ячейку и, повернув хроматографический кран, пропускали через нее поток озон-кислородной смеси. Изменение концентрации озона на выходе из реактора регистрировали самопишущим потенциометром ЛКС-4, а количество озона, вступившего в реакцию, находили по площади над кинетической кривой с помощью прецизионного интегратора.

Для оценки эффективности модификации поверхности волокон способами, описанными

выше, исследовали прочность границы раздела в соединениях волокно-ПП. При этом измеряли сдвиговую адгезионную прочность соединений ПП с одночными стеклянными волокнами τ и с многофиламентными промышленными нитями. Образцы получали в алюминиевых чашечках. Методика изготовления образцов и проведение эксперимента при использовании в качестве подложки жестких и гибких волокон большого диаметра подробно описаны в работах [8, 9]. Образцы откачивали при комнатной температуре 20 - 25 мин, а затем (примерно за это же время) нагревали до 210 - 215°C. Выдерживали при данной температуре 60 мин и под вакуумом охлаждали до комнатной температуры. Вакуум в начале опыта был равен 32 Па, а в конце 4 - 6.7 Па.

Моноволокна и нити, аппретированные ВТЭС, перед изготовлением образцов обрабатывали 0.5%-ным раствором перекиси дикумила в бензоле и сушили в воздушном термостате при 60 - 70°C.

Предварительные опыты показали, что эти условия оптимальны для получения качественных без пор и нарушений сплошности на границе раздела образцов. В данных условиях порошкообразный полимер превращается в однородный расплав, хорошо растекающийся в алюминиевой чашечке и смачивающий волокно.

Мерой адгезии для соединений моноволокно-термопласт (ПП) служила сдвиговая адгезионная прочность $\tau = F/S$, где F - сила, необходимая для выдергивания волокна из слоя полимера, S - площадь адгезионного соединения, т.е. площадь контакта полимера с волокном, $S = \pi dl$ (d - диаметр моноволокна, l - длина участка волокна, погруженного в слой полимера).

При использовании в качестве подложки (субстрата) многофиламентных стеклянных нитей основным критерием адгезии служила сила сцепления F , так как при использовании нитей не представляется возможным достаточно точно определить истинное значение площади соприкосновения полимера с моноволокнами.

Другой характеристикой, позволяющей оценить взаимодействие волокон и связующего, является энергия межслойного разрушения композита. В качестве изучаемого параметра обычно определяют величину G_{lc} - коэффициент интенсивности напряжений вблизи устья трещины, называемый удельной вязкостью разрушения.

Образцы готовили следующим образом. На две дюралевые пластинки размером 12 × 12 см натыкали слой одностороннего волокна толщиной 0.2 - 0.3 мм, которое предварительно в случае необходимости модифицировали в том или ином варианте. Затем пластинки складывали, поместив между ними ПП-пленку, объем которой примерно соответствовал объему волокна. С од-

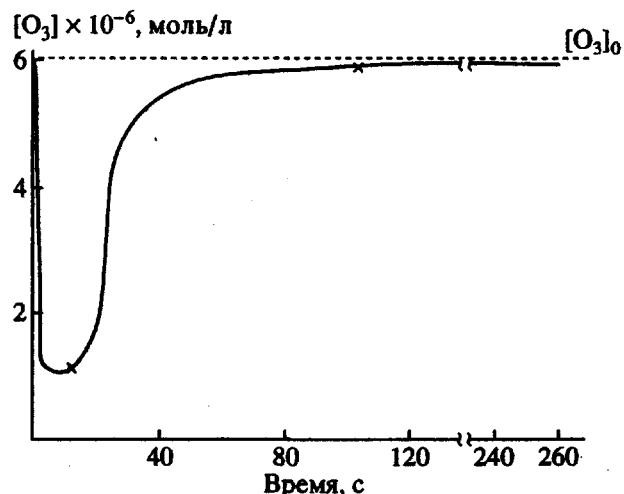


Рис. 1. Изменение концентрации озона на выходе из реакционной ячейки после реакции с АПС, хемосорбированным на поверхности СВ.

ного края заготовки вкладывали полоску фторопластовой пленки шириной 2 см. Образцы прессовали при 190°C в течение 30 мин при давлении 0.7 атм. Условия прессования были выбраны в специальных опытах заранее и могут считаться оптимальными. После прессования пластинку разрезали вдоль волокон на пять образцов шириной $b = 2$ см, необходимых для получения при испытании статистически достоверных результатов. Наличие начальной трещины в образце в виде тефлоновой пленки позволяло отогнуть его края и закрепить их в зажимах испытательной машины "Инстрон 1122". В процессе нагружения записывали изменение растягивающего усилия P во времени t . В наших экспериментах использовали тонкие образцы с $\sigma \sim 0.5$ мм. Это позволило рассчитать G_{lc} по упрощенной формуле [10] $G_{lc} = 2P/b$. При анализе полученных диаграмм приходилось учитывать сложный характер расслоения композитов. В зону разрушения включается несколько слоев волокон, часть из которых разрывается и трещина в ряде случаев выходит на поверхность образца. Этот недостаток тонких образцов, по-видимому, не является существенным, поскольку проведенное нами сопоставление значений G_{lc} для образцов толщиной от 0.5 до 1.5 мм дало идентичные результаты.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 1 представлена типичная кинетическая кривая изменения концентрации озона на выходе из реакционной ячейки. Видно, что кинетическую кривую реакции озона с АПС, хемосорбированным на поверхности стеклянных волокон (таблица, опыт 1), можно условно разделить на три стадии. Первая - быстрая, когда значения

Результаты анализа поверхности аппретированных стекловолокон и стекложгутов

Аппрет, растворитель, концентрация аппрета	Количество аппрета, хемосорбированного на поверхности $N \times 10^6$, моль/м ²			Количество монослоев		
	гидролиз водяным паром при 90°C	гидролиз сетки холодной водой	гидролиз сетки кипящей водой	гидролиз водяным паром при 90°C	гидролиз сетки холодной водой	гидролиз сетки кипящей водой
Стекловолокна						
АПС, вода, 1%	2.4	1.8	0.20	1.4	1.10	0.20
АПС, бензол, 1%	2.6	1.0	0.22	1.5	0.60	0.13
АПС, бензол, 0.5%	2.8	1.9	0.19	1.7	1.14	0.11
АПС, бензол, 10%	23	13	1.20	14	7.8	0.72
ВТЭС, вода, 1%	25	10	1.10	15	6.0	0.66
ВТЭС, бензол, 1%	23	16	1.08	14	9.6	0.65
Стекложгуты						
Аппретирован замасливателем № 80	1.9	-	-	1.1	-	-
То же + ВТЭС, бензол, 5%	31	-	-	19	-	-

наблюдаемой константы скорости максимальны, а диффузионные ограничения минимальны. Озон реагирует в основном с наружным слоем силанового аппрета. Вторая стадия – нестационарная, с быстро падающей эффективной константой скорости реакции. Основной вклад в уменьшение интегральной скорости реакции озона на этом этапе вносят диффузия озона в глубинные слои трехмерной сетки и, как это уже отмечено ранее, низкая реакционноспособность насыщенных углеводородов и продуктов озонолиза функциональных групп. Последняя третья стадия – самая медленная. Значение наблюдаемой константы скорости на данном этапе минимально. Площадь над кинетической кривой равна количеству озона, вступившего в реакцию.

Изменение скорости реакции озона с функциональными группами силоксановой сетки, хемосорбированной на поверхности СВ, от времени можно представить в виде следующего уравнения:

$$d[\text{O}_3]/dT = k[\text{O}_3][Sq\beta_0(1 - \alpha)],$$

где k – константа скорости реакции с размерностью л/моль с; $[\text{O}_3]$ – концентрация озона, моль/л; S – удельная поверхность СВ, м²/г; q – весовое содержание СВ, нормированное к объему реактора 1 л/литр, г/л; β_0 – количество молей аминогрупп на одном м² поверхности СВ, моль/м²; α – глубина конверсии аминогрупп в данный момент времени (β/β_0).

В таком случае условие материального баланса для проточной системы имеет вид

$$\bar{v}([\text{O}_3]_0 - [\text{O}_3]) = w_p - k[\text{O}_3][Sq\beta(1 - \alpha)].$$

Здесь \bar{v} – объемная скорость потока с размерностью с⁻¹ (в данном опыте $\bar{v} = 2$ с⁻¹); $([\text{O}_3]_0 - [\text{O}_3])$ – разность между концентрациями озона на входе и выходе из реактора, моль/л; w_p – скорость реакции. Используя это дифференциальное уравнение, можно вычислить константы скорости реакции в

начале и в конце опыта. Отметим, что реакцию озона с функциональными группами силоксановой сетки, хемосорбированной на поверхности СВ, можно считать топохимической, так как она проходит в твердом теле. Поэтому наблюдаемые в опыте константы скорости реакции являются эффективными, и их можно рассматривать только как количественные характеристики скорости процесса.

Например, в начале опыта (точка на кривой отмечена крестиком) действующая концентрация озона равна 1.1×10^{-6} моль/л, а глубина конверсии аминогрупп, найденная по расходу озона, составляет 0.6. Эффективная константа скорости для этой стадии (диффузионные ограничения сравнительно невелики) равна 4.9×10^5 л/моль с. В конце опыта, когда аминогруппы практически все уже вступили в реакцию и озон реагирует с продуктами их окисления, эффективная константа скорости не превышает 2.2×10^3 л/моль с. Таким образом, эффективные константы скорости реакции отличаются на ~2 порядка. Эти данные хорошо согласуются с различной реакционной способностью озона по отношению к первичным аминам и кислородсодержащим органическим соединениям [7].

Результаты анализа поверхности стекловолокон, аппретированных ВТЭС и АПС, представлены в таблице. Видно, что для обычно используемых концентраций АПС в растворе (0.5 - 1.0%) количество аппрета, хемосорбируемого на поверхности волокон, находится в пределах $(2.4 - 2.8) \times 10^{-6}$ моль/м² СВ, в то время как для ВТЭС содержание аппрета на поверхности на ~1 порядок больше ($(23 - 31) \times 10^{-6}$ моль/м²). Для образования монослоя на 1 м² поверхности необходимо 1.66×10^{-6} моля силанового аппрета [5]. Удельная поверхность стекловолокна равна 0.2 м²/г (найдено методом БЭТ по адсорбции криптона). Зная эти параметры, нетрудно оценить толщину слоя аппрета на поверхности исследуемых образцов.

Видно, что для обычно используемых концентраций АПС (0.5 - 1.0%) толщина слоя аппрета составляет ~1.5 монослоя. Эта величина является среднечисленной, так как нормирована ко всей поверхности, которая неоднородна. Неоднородность поверхности стекловолокна приводит к неравномерному распределению силиановых аппретов на поверхности. Поэтому наряду с незакрытыми участками поверхности имеются участки с толщиной от одного до десяти монослоев [5]. Трехмерная силикановая сетка, не связанная с поверхностью, легко удаляется холодной и кипящей водой и после гидролиза в течение 40 мин на поверхности остается ~5 - 10% от исходного количества. Эти данные фактически совпадают с результатами исследования гидролиза в силикановых аппретах методом меченых атомов [5].

При замене АПС на ВТЭС большое (до 15 монослоев) количество сорбированного аппрета достаточно для экранирования практически всей поверхности СВ, даже при неравномерном распределении аппрета вдоль волокна [5]. Как следует из таблицы, чтобы получить на поверхности волокон такое же большое количество хемосорбированного аминосилана, пришлось бы при нанесении увеличить концентрацию его бензольных растворов в ~10 раз. Сравнительно большое количество реакционноспособных виниловых групп на поверхности волокон может способствовать увеличению прочности приповерхностных слоев в соединениях ПП-волокно как за счет адсорбции, так и за счет радикальных реакций, инициируемых распадом перекиси дикумила, а это может сказаться на усилении сцепления в межфазной области и привести к улучшению свойств композитов.

Таким образом, исследование состояния поверхности стеклянных волокон методом озонирования показало, что наиболее перспективным при изготовлении полипропиленовых стеклопластиков должно оказаться использование волокнистого наполнителя, поверхность которого модифицирована ВТЭС. Изучение прочности границы раздела в элементарной ячейке композита и физико-механических характеристик стеклопластиков подтвердило эти выводы. На рис. 2 представлены результаты, полученные при исследовании адгезии ПП к моноволокнам и к нитям. Видно, что адгезионная прочность в соединениях ПП-волокно невысока: $\tau = 10 - 13$ МПа. Подобные результаты были получены ранее [2, 9] для других марок ПП. Значения τ слабо зависят от размеров соединения.

Практически постоянное значение τ в широком интервале длин (площадей) соединений отмечали для соединений полиолефинов с волокнами (при комнатной температуре) и ранее [9]. Подобная независимость τ от S свидетельствует о достаточно равномерном распределении сдвиговых напряжений на границе раздела. Такое распреде-

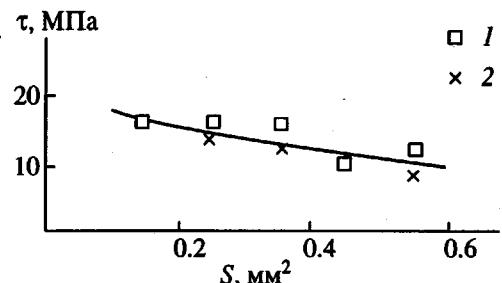


Рис. 2. Влияние масштабного фактора на адгезионную прочность соединений полипропилен-стеклянное волокно диаметром 120 - 200 мкм. 1 - волокно с чистой (необработанной) поверхностью; 2 - волокна обработаны 1%-ным раствором ВТЭС в воде.

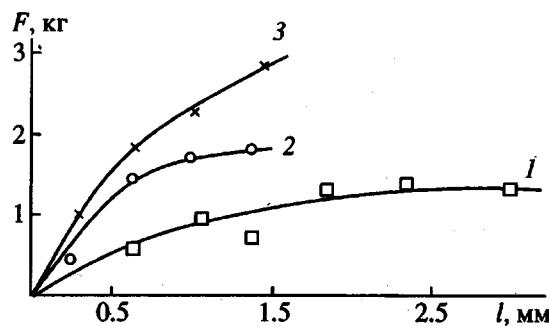


Рис. 3. Прочность сцепления соединений полипропилен-стеклянная нить. Поверхность волокон в нити: 1 - после отжига от замасливателя, 2 - обработана 1%-ным раствором ВТЭС в воде, 3 - после обработки 1%-ным раствором ВТЭС в воде отмыта холодной водой.

ление напряжений определяется высокоэластическим состоянием ПП в аморфной фазе при комнатной температуре и тем, что любые перенапряжения, возникающие на границе раздела, имеют возможность релаксировать.

Зависимость $\tau-S$, подобную представленной на рис. 2, наблюдали также и для соединений волокно-термопротивные полимеры (эпоксидные, полиэфирные, фенольные и т.п.) в случаях, когда измерения проводили при температурах выше температуры стеклования полимера. Таким образом, данные рис. 2 подтверждают близость закономерностей, описывающих зависимость адгезионной прочности от масштабного фактора (от формы и размеров образцов) и для соединений волокон с термопротивными (сетчатыми) полимерами, и для их соединений с линейными полимерами.

Обработка поверхности моноволокон ВТЭС практически не приводит к изменению сдвиговой прочности границы раздела. Однако оценка прочности сцепления ПП-матрицы с промышленными нитями (т.е. прочности сцепления в элементарной ячейке реально используемого в

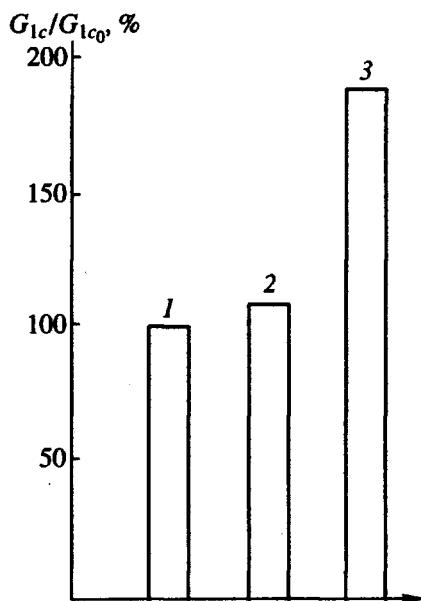


Рис. 4. Относительное изменение удельной вязкости разрушения G_{1c} однонаправленных полипропиленовых стеклопластиков. Для получения образцов использовали исходные стекложгуты (1); стекложгуты, поверхность волокон которых обработана 0.5%-ным раствором аминосилана АПС в бензоле (2), и стекложгуты, поверхность волокон которых обработана 5%-ным раствором ВТЭС в бензоле (3). ($G_{1c} = 2.8 \text{ кДж/м}^2$ для пластиков на основе немодифицированных волокон).

данных опытах рН) показала, что обработка стеклянных нитей ВТЭС явно способствует росту прочности сцепления, причем это увеличение зависит от количества нанесенного аппрета.

Если количество аппрета велико, прочность сцепления увеличивается в ~2 раза. Если обработать нити водой и смыть ту часть ВТЭС, которая непрочно связана с поверхностью стекла, то наблюдается дальнейшее возрастание прочности сцепления (рис. 3), которое достаточно естественно. При вытаскивании нитей из слоя ПП соедине-

ния разрушаются смешанно по границе раздела и по поверхностным слоям ПП и по волокну. В связи с этим удаление той части аппрета, которая состоит из рыхлых слабо связанных между собой слоев силоксановой сетки, должно способствовать росту силы сцепления. Сравнение результатов рис. 2 и 3 показывает, что, вероятно, нанесение ВТЭС способствует лучшему растеканию ПП и проникновению между филаментами стеклянных нитей. Это ведет к повышению прочности сцепления (но не адгезионной прочности) и способствует улучшению технологии получения СП.

Влияние модифицирования поверхности волокон на характеристики стеклопластиков показано на рис. 4. Как видно, во всех случаях наличие модификаторов приводит к увеличению G_{1c} . При обработке волокон аминосиланом это увеличение невелико (10 - 20%). В то же время модификация волокон ВТЭС вызывает почти двукратное повышение G_{1c} , что свидетельствует о большой эффективности этого аппрета и согласуется с данными, полученными при изучении адгезии, т.е. измерения, наблюдавшиеся в элементарной ячейке композита, закономерно сказываются на изменении его макросвойств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Galli E. // Plast Compaund. 1986. V. 9. № 2. P. 42.
2. Yue C.Y., Cheung W.L. // J. Mater. Sci. 1992. V. 27. P. 3173.
3. Yue C.Y., Cheung W.L. // J. Mater. Sci. 1992. V. 27. P. 181.
4. Schriever H., Wurmb R. // Schweiz. techn. Z. 1986. № 12. P. 31.
5. Композиционные материалы / Под ред. Плюдемана Э. М.: Мир, 1978. Т. 6. С. 293.
6. Пат. 3849148 США. 1975.
7. Разумовский С.Д., Заиков Г.Е. Озон и его реакции с органическими соединениями. М.: Наука, 1974. С. 295.
8. Горбаткина Ю.А. Адгезионная прочность в системах полимер-волокно. М.: Химия, 1987. С. 192.
9. Gorbatkina Yu.A. Adhesive strength of fiber polymer systems. New-York, London: Ellis Horwood, 1992. P. 264.
10. Баженов С.Л. // Composite. 1991. V. 22. № 4. P. 275.

Surface Modification of Glass Fibers by Silane Coupling Agents and Its Effect on the Strength of the Interfacial Boundary and Properties of Polypropylene Glass-Reinforced Plastics

A. N. Zelenetskii, Yu. A. Gorbatkina, A. M. Kuperman, O. N. Pirogov,
M. A. Tovmasyan, K. A. Denisov, and I. A. Vasil'ev

Semenov Institute of Chemical Physics, Russian Academy of Sciences
ul. Kosygina 4, Moscow, 117977 Russia

Abstract – It was shown that ozonometry can be used for quantitative analysis of functional groups forming on the surface of glass fibers as a result of the condensation polymerization of silane coupling agents. A setup was built and technique for ozonometric measurements was developed. The method was used to investigate the surface of glass fibers modified by vinyl- and aminosilanes. Analysis showed that the best results are achieved by treating the surface with vinyltriethoxysilane. It was shown that, in this case, coupling between the glass fibers and the polypropylene matrix and the toughness of polypropylene composites increase.