

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ИЗДЕЛИЙ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ УЛЬТРАЗВУКОВЫМИ МЕТОДАМИ

А.В. Ярцев, В.Н. Хмелев
БТИ АлтГТУ, г. Бийск

В настоящее время в строительной индустрии при производстве бетонных плит в качестве коннекторов для скрепления бетонных плит используются изделия из полимерных композитных материалов (ПКМ), представляющие собой однонаправленные стеклопластиковые стержни диаметром 7...9 мм с утолщениями на концах.

Высокие требования к качеству обуславливают необходимость разработки и применения оперативных методов контроля параметров таких изделий.

Одним из важнейших параметров таких изделий является содержание связующего, определяющего не только механическую прочность изделия, но и её химическую стойкость.

Проведенные изготовителем таких изделий, Бийским заводом стеклопластиков, исследования позволили установить, что оптимальные параметры различных изделий по прочности и химической стойкости обеспечиваются при различном содержании связующего в изделии.

Требуемое содержание связующего обеспечивается специальными технологическими приемами, в частности, использованием технологии ультразвуковой пропитки.

Однако, в процессе производства коннекторов возможны нерегламентные изменения параметров окружающей среды (температуры, влажности т.п.) и свойств используемых материалов. Это приводит к недопустимым отклонениям содержания связующего, исключая использование изготовленных изделий по их предназначению.

В связи с этим возникает необходимость в своевременном выявлении недопустимых отклонений в содержании связующего и отбраковке непригодных к эксплуатации коннекторов.

В настоящее время выявление бракованных изделий осуществляется методом выжигания связующего. Используемый метод характеризуется достаточно высокой точностью, однако его применение требует длительного времени (до 2 ч) и специального оборудования.

По этим причинам метод, основанный на выжигании связующего, используется только для выборочного контроля и на стадии отработки технологии.

Чтобы устранить эти недостатки, было предложено контролировать изделия акустическим методом. В качестве носителя измерительной информации использовалась скорость прохождения УЗ колебаний через изделие. Измерительная установка представляет собой стандартный измеритель скорости УЗ колебаний УК-10ПМ и два пьезопреобразователя, которые прикладываются к торцам изделия. Один из преобразователей служил приемником акустической волны, а другой источником. На источник подавалось импульсное напряжение, вследствие чего пьезопластина совершала несколько колебаний с резонансной частотой. УЗ колебания, проходя через изделие, попадала на приемник. Время между подачей импульса напряжения и приходом волны измерялась прибором и интерпретировалась как время прохождения акустической волны.

В результате исследования распространения акустических волн в коннекторах было установлено, что оптимальная рабочая частота преобразователей (обеспечивающая допустимую погрешность измерений при относительно небольшом затухании колебаний в изделии) соответствует 70 кГц. Погрешность измерения скорости прибором УК-10ПМ в ручном режиме не превышает 1%.

Для исследования зависимости скорости прохождения УЗ волны и процентным содержанием компаунда использовался комплект коннекторов с разным содержанием смолы. Комплект разбивался на группы по 10-15 экземпляров по содержанию смолы. В коннекторах измерялась скорость акустических колебаний и по полученному значению сопоставлялось процентное содержание смолы. Полученные результаты сведены в таблицу 1.

Таблица 1

№ группы	C_{cp} м/с	Содержание смолы %
1	4870	20,44
2	4841	21,49
3	4812	22,28
4	4786	23,18
5	4782	23,58
6	4757	23,98
7	4726	24,89
8	4642	30,00
9	4628	30,60
10	4564	30,50
11	4559	31,60

В ходе анализа полученных результатов была установлено, что существует линейная зависимость между скоростью распространения УЗ колебаний и содержанием смолы, а именно: процентное содержание

смолы обратно пропорционально скорости прохождения акустической волны. Коэффициент корреляции между этими двумя величинами, согласно вышеприведенной таблице, равен 0.95.

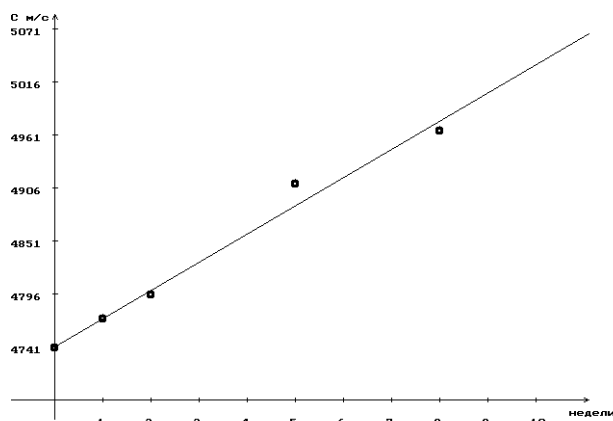
Обратная зависимость объясняется следующим образом. Скорость акустических колебаний в стекловолокне равна около 5000 м/с, а в эпоксидной смоле около 2600 м/с. Если акустические колебания распространяются по смеси этих двух веществ, то её скорость будет представлена этими двумя скоростями с разными весами. Поэтому при увеличении содержания смолы, итоговая скорость акустической волны будет уменьшаться. В соответствии с найденной зависимостью возможно изготовление установки, для контроля содержания компаунда. Данная установка малогабаритна, экономична, а также имеет высокую точность и производительность

Проведенные на свежеизготовленных изделиях (на позднее нескольких часов с момента изготовления) позволили установить наличие линейной зависимости между скоростью распространения УЗ колебаний и содержанием связующего, определяющего свойства готового изделия. Полученные результаты позволяют рекомендовать предложенный метод в качестве метода оперативного контроля качества коннекторов в процессе их производства.

Известно, что с течением времени степень полимеризации смолы возрастает. Этот процесс может достигать нескольких месяцев. Сначала смола улучшает свои прочностные характеристики в течение достаточно длительного времени, а затем такое же длительное время идет процесс разрушения.

Для исследования влияния процесса полимеризации на скорость прохождения УЗ колебаний было исследовано 68 одинаковых образцов. Такое большое количество образцов позволило получить достаточно точные результаты, представленные на графике 1.

график 1



На оси абсцисс отложен возраст изделий в неделях, а на оси ординат значения средней скорости распространения УЗ колебаний в 68 образцах. Как видно из графика существует линейная зависимость между временем, прошедшим с момента изготовления образца и скоростью УЗ колебаний. Это можно объяснить увеличением степени полимеризации со временем, вследствие чего модуль упругости увеличивается.

Таким образом, возможен экономичный и оперативный контроль степени полимеризации связующего в изделиях, а также его возраст. Данный метод имеет все преимущества перед традиционными методами контроля степени полимеризации.

Полученные результаты были подтверждены путем сравнения термостатированных (искусственное старение) и нетермостатированных образцов.

Известно, что одним из способов повышения прочности коннекторов является их термостатирование. При термостатировании коннекторы выдерживаются в печи при температуре 160..200 °С в течении 1,5...2 часов. В результате такой обработки происходит существенное повышение прочности изделий. При контроле ультразвуковыми колебаниями двух типов изделий, термостатированных и нетермостатированных, выявлено, что у термостатированных образцов скорость УЗ выше на 250-300 м/с.

При исследовании характеристик коннекторов очень важной характеристикой является температура стеклования.

Известно, что стекловолокно при нагреве до 200 °С практически не изменяет своих свойств, а связующее плавится при различных температурах, в зависимости от используемого материала и технологии изготовления:

- в термостатированных образцах – 130...160 °С
- в нетермостатированных образцах – 70...90 °С

Для определения температуры стеклования использовался ультразвуковой прибор УК-10ПМ., Для нагревания изделий применялся цилиндрический нагревательный элемент диаметром 10 см, а температура изделия измерялась термопарой.

При проведении эксперимента на нагревательном элементе размещался исследуемый образец, а с двух торцов прикладывались пьезопреобразователи с резонансной частотой 70 кГц. Температура нагревателя измерялась с помощью термопары. Нагреватель повышает температуру со скоростью 10⁰С в минуту. При нормальной температуре измеряются исходные характеристики образца (скорость прохождения волны и амплитуда пройденной волны).

В нетермостатированных образцах различной длины (10 и 20 см) наблюдается понижение амплитуды пройденной волны в диапазоне температур 80-120⁰С, далее при приближении к температуре 170-180⁰С амплитуда повышается и в конечной точке превышает исходную. Относительное изменение амплитуды в ту и другую стороны около 20%. Время прохождения УЗ волны уменьшилась на 0.6 мс (около 1.5%), наибольшие изменения наблюдались в диапазоне температур 100-120⁰С.

В термостатированных образцах наблюдалась следующая картина. Длинные образцы (20 см): с повышением температуры амплитуда повысилась на 30%. Максимальная скорость повышения приходится на диапазон 140-160⁰С. Время прохождения УЗ колебаний уменьшилась на 0.3 мс для одного образца и 0.4 мс для другого. Таким образом, скорость прохождения увеличилась примерно на 1.2%. В коротких образцах наблюдалось аналогичное качественное изменение. Количественное изменение было следующим: амплитуда пройденной УЗ волны увеличилась в 2-2.5 раза, увеличение скорости было зарегистрировано, однако данное измерение следует считать не достоверным, ввиду малой длины образца. Наибольшее изменение амплитуды наблюдались в диапазоне температур 140-160⁰С.

Количественное различие между значениями, полученными для длинных и коротких образцов объясняется тем, что размер нагревательного элемента меньше размера длинных образцов и поэтому нагревание изделия происходит неравномерно. А вследствие плохой проводимости образцов, их концы остаются холодными с течением всего эксперимента. Найденную нелинейную зависимость между амплитудой затухания акустических колебаний и температурой образца можно использовать для измерения температуры плавления смолы.

В результате проведенных исследований установлено, что возможен контроль многих параметров изделий из ПКМ с помощью акустического метода, отличающийся высокой точностью, дешевизной, высокой производительностью и возможностью автоматизации процесса измерений.