Еренков О. Ю., Проценко А. Е., Шпилев А. М.
O. Yu. Erenkov, A. E. Protsenko, A. M. Shpilev

ПОВЫШЕНИЕ ПРОЧНОСТИ СТЕКЛОПЛАСТИКА ПУТЁМ ВИБРАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ ЭПОКСИДНОГО СВЯЗУЮЩЕГО

INCREASING THE STRENGTH OF FIBERGLASS BY MEANS OF EPOXY BINDER VIBRATION TREATMENT

Еренков Олег Юрьевич – доктор технических наук, профессор кафедры химии и химических технологий Тихоокеанского государственного университета (Россия, Хабаровск); 680035, Хабаровский край, г. Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 136. E-mail: erenkov@list.ru.

Mr. Oleg Yu. Erenkov – Dr.hab. of Engineering, professor, Department of Chemical Technology, Pacific National University (Russia, Khabarovsk); 680035, Khabarovsk territory, Khabarovsk, 136 Pacific str. E-mail: erenkov@list.ru.

Проценко Александр Евгеньевич – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии переработки нефти и полимеров Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, Хабаровский край, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27. E-mail: protsenko.ae@yandex.ru.

Mr. Alexander E. Protsenko – PhD in Engineering, Assistant Professor, Department of Technology of oil and polymer processing, Komsomolsk-on-Amur State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur); 681013, Khabarovsk territory, Komsomolsk-on-Amur, 27 Lenin str. E-mail: protsenko.ae@yandex.ru.

Шпилев Анатолий Михайлович – доктор технических наук, профессор Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, Хабаровский край, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27. E-mail: Shpilev@knastu.ru.

Mr. Anatoly M. Shpilev – Dr.hab. of Engineering, Professor, Komsomolsk-on-Amur State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur); 681013, Khabarovsk territory, Komsomolsk-on-Amur, 27 Lenin str. E-mail: Shpilev@knastu.ru.

Аннотация. Представлены результаты экспериментальных исследований влияния предварительной вибрационной обработки полимерного связующего непосредственно перед его отверждением в пресс-форме на механические характеристики стеклопластика. Приведены результаты механических исследований и их физическая интерпретация.

Summary. The authors present results of experimental studies of the effect of pre-treatment of vibration polymer binder immediately before curing in the mold on the mechanical characteristics of fiberglass. The results of investigations of mechanical and physical interpretation are given.

Ключевые слова: стеклопластик, полимерное связующее, надмолекулярная структура, амплитуда колебаний, частота колебаний, механические свойства.

Key words: fiberglass, polymer binder, super molecular structure, oscillation amplitude, oscillation frequency, mechanical properties.

УДК 621.763

Введение

Благодаря особым свойствам, присущим только пластическим массам, применение их в машиностроении открывает широкие конструктивно-технологические возможности для создания машин и аппаратов на более высоком техническом уровне. Многие пластмассы, являясь самостоятельными конструкционными материалами, с большим успехом вытесняют как цветные, так и чёрные металлы.

При этом особого внимания заслуживают стеклопластики, представляющие собой термореактивную пластмассу, состоящую из синтетической смолы со стекловолоконным наполнителем. Высокая удельная прочность в сочетании с хорошей химической стойкостью по отношению ко многим агрессивным средам открывает возможности использования стеклопластиков в различных отраслях промышленности и, в частности, в центробежных компрессорных машинах, обслуживающих различные химические производства [1].

Несмотря на многообразие способов получения деталей и изделий из стеклопластиков, применение их в качестве конструкционного материала часто ограничивается достигнутым уровнем их прочностных свойств, которые, в свою очередь, лимитируются несовершенством технологического процесса и нестабильностью свойств полимерных связующих. Очень часто имеют место механические повреждения деталей наиболее нагруженных узлов энергетических машин, таких как рабочие лопатки, диски и т. д. Таким образом, задача повышения прочностных свойств стеклопластиков, в том числе за счёт новых технологических решений, является актуальной.

Рассмотрим решение поставленной задачи на основе структурной модификации полимерного связующего путём его предварительной вибрационной обработки перед операцией пропитки наполнителя.

Цель работы – исследование взаимосвязи между прочностными свойствами деталей из стеклопластика, изготавливаемых методом вакуумно-компрессионной пропитки, и видом, параметрами предварительных электрофизических воздействий на эпоксидное связующее.

Методика проведения исследований

В качестве материала для изготовления экспериментальных образцов использовано полимерное связующее Этал Т 210, наполнитель – стеклоткань Т11, замасливатель – ГВС9. Были изготовлены образцы стеклопластика типа Этал Т 210-Т11-ГВС9 с помощью установки вакуумно-компрессионной пропитки и печи сопротивления для термообработки материала, установленной на ОАО «Дальэнергомаш» (г. Хабаровск) [2; 3].

Образцы связующего и стеклопластика в виде пластин и лопаток подвергались исследованиям в соответствии с ГОСТ 4648-71 «Пластмассы. Метод испытания на статический изгиб» и ГОСТ 11262-80 «Пластмассы. Метод испытания на растяжение»: испытания образцов связующего с целью определения напряжений сжатия, растяжения, изгибающих напряжений, прочности при межслойном сдвиге, ударной вязкости и твёрдости как после электрофизического воздействия, так и без него; испытания образцов стеклопластика с целью определения напряжений растяжения, изгибающих напряжений, прочности при межслойном сдвиге, ударной вязкости и твёрдости как после электрофизического воздействия, так и без него. Определение параметров, характеризующих механические свойства исследуемого материала, проводили на испытательных машинах моделей УММ-20, МК-30А, ТБ 5004. Качество обработанной резанием поверхности деталей из исследуемого материала контролировали при помощи профилометра ТК 200 (США). Оценивались основные параметры шероховатости согласно ГОСТ 2789-73 «Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики» и международному стандарту 4287-2014 (ГОСТ Р ИСО 4287-2014 «Геометрические характеристики изделий. Структура поверхности. Профильный метод. Термины, определения и параметры структуры поверхности»). Токарную обработку проводили на токарном патронно-центровом станке с ЧПУ модели РТ755Ф311, а разрезку – абразивным кругом. Контроль изменения плотности полимерного связующего производили при помощи дефектоскопа ультразвукового УД2-12 общего назначения, при этом величина изменения плотности оценивалась по изменению величины отношения входных амплитуд сигналов.

Экспериментальные исследования

Экспериментальные исследования проводились в несколько этапов. На первом этапе проведён базовый эксперимент, цель которого – определение механических свойств исходного материала при стандартных условиях, то есть без применения предварительного воздействия на обрабатываемый материал. На втором этапе проведены экспериментальные исследования

изменения плотности отверждённых образцов полимерного связующего в зависимости от режимов виброобработки связующего в жидком состоянии. Третий этап был посвящён экспериментальному определению взаимосвязи между режимом виброактивации перед отверждением жидкого эпоксидного связующего и прочностными показателями стеклопластика.

Вибрационную обработку полимерного связующего производили с помощью механического вибратора, конструктивное исполнение которого позволяло реализовывать колебания частотой 50 и 100 Гц, амплитуда колебаний варьировалась от 2 до 60 мкм.

На рис. 1 представлены экспериментальные данные, анализ которых позволяет сделать вывод о том, что вибрационная обработка жидкого полимерного связующего приводит к изменениям его структуры. Об этом свидетельствует факт изменения плотности образцов из связующего, при этом с увеличением времени виброактивации происходит повышение его плотности. Характер повышения явно имеет экспоненциальный характер, а оптимальное время виброактивации составляет 5 минут.

Рис. 1. Плотность образцов отверждённого полимерного связующего:
1 – $f = 100$ Гц, $A = 60$ мкм; 2 – $f = 100$ Гц, $A = 20$ мкм; 3 – $f = 50$ Гц, $A = 60$ мкм;
4 – $f = 50$ Гц, $A = 20$ мкм

Таким образом, можно предположить, что наиболее оптимальным режимом виброактивации из исследуемых в данной работе является такой: частота колебаний 100 Гц, амплитуда колебаний 60 мкм.

Повышение плотности полимерного связующего под действием механических колебаний происходит, по-видимому, за счёт дегазации массы связующего и более равномерного распределения отвердителя в объёме эпоксидного олигомера.

Оценить взаимосвязь между режимом виброактивации жидкого эпоксидного связующего (перед отверждением) и пределом прочности стеклопластика при статическом изгибе можно с помощью графически представленных на рис. 2 данных. В случае реализации указанных режимов виброактивации связующего наблюдается изначально увеличение предела прочности стеклопластика при изгибе, а затем, при превышении 5 мин виброобработки, либо некоторое снижение прочности, либо сохранение постоянного её значения.

Анализ полученных на данном этапе исследований экспериментальных данных позволяет подтвердить следующее предположение: наиболее оптимальный режим виброактивации из исследуемых в данной работе – частота колебаний 100 Гц, амплитуда колебаний 60 мкм. Именно при реализации данного режима обеспечивается максимальное значение предела

прочности при изгибе стеклопластика в случае предварительной виброобработки связующего в течение 5 минут.

Рис. 2. Предел прочности при статическом изгибе образцов из стеклопластика:
 1 – $f = 100$ Гц, $A = 60$ мкм; 2 – $f = 100$ Гц, $A = 20$ мкм; 3 – $f = 50$ Гц, $A = 60$ мкм;
 4 – $f = 50$ Гц, $A = 20$ мкм

На рис. 3 графически представлены экспериментальные данные, позволяющие оценить взаимосвязь между режимом виброактивации перед отверждением жидкого эпоксидного связующего и ударной вязкостью стеклопластика. В случае реализации указанных режимов виброактивации связующего наблюдается изначально рост ударной вязкости стеклопластика при изгибе, а затем, при превышении 5 мин виброобработки, либо некоторое снижение ударной вязкости, либо сохранение постоянного её значения.

Рис. 3. Ударная вязкость образцов из стеклопластика:
 1 – $f = 100$ Гц, $A = 60$ мкм; 2 – $f = 100$ Гц, $A = 20$ мкм; 3 – $f = 50$ Гц, $A = 60$ мкм;
 4 – $f = 50$ Гц, $A = 20$ мкм

Результаты сравнительного анализа, полученные на данном этапе исследований экспериментальных данных, – прямое подтверждение предположения о том, что оптимальный режим виброактивации из исследуемых в данной работе – частота колебаний 100 Гц, амплитуда колебаний 60 мкм. Именно при реализации данного режима обеспечивается максимальное значение ударной вязкости стеклопластика в случае предварительной виброобработки связующего в течение 5 минут.

Повышение прочностных показателей стеклопластика можно объяснить следующим образом. Виброобработка связующего приводит к образованию более плотной и равномерной его структуры, обеспечивающей повышение степени равномерности пропитки наполнителя в виде стеклоткани полимерным связующим и, соответственно, усиление адгезии на границе раздела фаз «наполнитель – связующее».

В данной работе проводились экспериментальные исследования эффективности механической обработки стеклопластика Этал Т 210-Т11-ГВС9, полимерное связующее которого было предварительно обработано посредством механических колебаний частотой 100 Гц при амплитуде колебаний 60 мкм в течение 5 минут. Осуществлялись следующие виды механической обработки полученных впоследствии образцов: точение, резка. Основное требование, предъявляемое к указанным операциям – обеспечение минимального уровня шероховатости обработанной поверхности.

На рис. 4 представлены профилограммы обработанных точением поверхностей деталей из стеклопластика, а в табл. 1 сведены численные значения отдельных параметров шероховатости для случаев точения и резки заготовок из исследуемого материала.

Анализ данных (см. рис. 4 а, б и табл. 1) позволяет сделать заключение о том, что механическая обработка стеклопластика Этал Т 210-Т11-ГВС9, выполненного из предварительно обработанного посредством механических колебаний связующего, обеспечивает получение более качественно обработанной поверхности. Об этом свидетельствует экспериментально установленный факт снижения параметров шероховатости обработанной поверхности модифицированного стеклопластика до 2 раз по сравнению с поверхностью стандартного материала.

Рис. 4. Профилограммы обработанных точением поверхностей деталей из стеклопластика: а – без предварительной виброобработки связующего; б – виброобработка связующего (50 Гц, 20 мкм); в – виброобработка связующего (100 Гц, 60 мкм)

Таблица 1

Результаты исследования шероховатости поверхности деталей из стеклопластика при различных видах обработки

Вариант точения	Параметры шероховатости, мкм						
	Ra	Rz	Rmax	Rp	Rm	Sm	Sk
Точение							
Обычное точение	12,61	32,72	30,97	14,02	21,95	0,337	0,976
С предварительной виброобработкой связующего (100 Гц, 60 мкм)	7,505	15,24	20,75	9,232	11,52	0,186	0,600
Разрезка							
Обычное точение	18,7	40,20	37,90	11,80	19,10	0,101	0,131
С предварительной виброобработкой связующего (100 Гц, 60 мкм)	12,88	29,33	22,37	6,203	8,55	0,098	0,103

Заключение

1. Доказан экспериментально факт изменения структуры полимерного связующего после предварительной его вибрационной обработки (перед отверждением), о чём свидетельствуют результаты исследования плотности образцов из связующего, а также установлены характер такого изменения и оптимальное время виброактивации, составляющее 5 минут.

2. Установлено, что наиболее оптимальным режимом вибрационной обработки жидкого полимерного связующего является частота колебаний 100 Гц при амплитуде колебаний 60 мкм, так как при реализации именно такого режима виброобработки связующего наблюдаются максимальные значения исследуемых прочностных показателей изготавливаемого стеклопластика.

3. Обработка стеклопластика Этал Т 210-Т11-ГВС9, выполненного из предварительно виброактивированного связующего, обеспечивает получение более высокого качества поверхности, что подтверждается фактом снижения параметров шероховатости обработанной поверхности модифицированного стеклопластика до 2 раз по сравнению с поверхностью стандартного материала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зеленов, Ю. В. Прогнозирование изменения физических свойств полимерных материалов при разных способах их модификации / Ю. В. Зеленов, В. И. Хромов // Пластические массы. – 2002. – № 11.
2. Еренков, О. Ю. Исследование механических свойств ПКМ в зависимости от предварительного электрофизического воздействия на связующее / О. Ю. Еренков, П. В. Игумнов, В. Л. Никищечкин // Известия ОрелГТУ. – 2009 – № 3-2/275(561). – С. 561.
3. Еренков, О. Ю. Исследование эффективности влияния предварительной электрофизической обработки связующего на прочностные характеристики ПКМ / О. Ю. Еренков, В. Л. Никищечкин // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2010. – № I-1(2). – С. 99-104.