

Ультразвуковая пропитка полимерных стекловолоконных композиционных материалов

Хмелев В.Н.(член IEEE), Барсуков Р.В., Сливин А.Н., Цыганок С.Н.,
Шалунов А.В. (член IEEE), Савин И.И.(член IEEE)
Бийский Технологический Институт, Бийск, Россия

Аннотация.

В статье описано устройство ультразвуковой пропитки стекловолокна эпоксидным связующим в процессе производства изделий из полимерных композиционных материалов. Созданное устройство обеспечивает повышение эффективности ультразвукового воздействия на эпоксидное связующее и стекловолоконный наполнитель, по сравнению с известными, использовавшимися ранее устройствами.

I. Введение

Полимерные композиционные материалы (ПКМ) на основе волокнистых наполнителей (стекловолокна, органо-волокна или углеволокна), эпоксидного связующего (рис. 1) и изделия из них обладают рядом уникальных свойств.

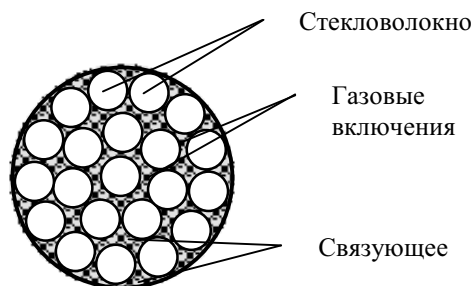


Рис. 1. Сечение ПКМ.

Это определяет их широкое применение в различных отраслях современного производственного комплекса: от ракетной техники и космических технологий до изготовления изделий, используемых в быту.

Одна из основных стадий технологического процесса изготовления изделий из ПКМ, определяющих качество конечного изделия, является пропитка волокнистого наполнителя полимерным связующим.

II. Постановка проблемы

Недостаточная пропитка полимерным связующим волокнистых наполнителей в процессе производства ведёт к снижению эксплуатационных характеристик и преждевременному разрушению изделий из ПКМ.

Кроме того, образование воздушных включений в процессе пропитки значительно ухудшает прочность изделий из ПКМ, особенно при межслойном сдвиге [1].

В связи с этим, для повышения качества и прочности изделий из ПКМ, необходимо повысить эффективность процесса пропитки, то есть обеспечить условия, облег-

чающие проникновение связующего в межволоконное пространство волокнистого наполнителя

создать условия, облегчающие проникновение связующего в межволоконное пространство волокнистого наполнителя.

III. Способы повышения эффективности пропитки

Существуют различные технологические приемы, облегчающие проникновение полимерного связующего в наполнитель. Это уменьшение скорости движения волокнистого наполнителя через ванну с полимерным связующим, вакуумирование связующего, отжим пропитанного наполнителя, а также физическое модифицирование полимерного связующего, и изменение его вязкости способствующие значительному улучшению смачиваемости волокон наполнителя. Модифицирование связующего можно осуществить воздействием электрических и магнитных полей, вибрацией волокон наполнителя, воздействием интенсивных ультразвуковых колебаний на волокна наполнителя и полимерное связующее.

Уменьшение скорости либо увеличение времени протягивания волокнистого наполнителя через ванну с полимерным связующим значительно понижает производительность процесса, так как скорость протягивания значительно выше скорости капиллярной пропитки. Обеспечение вакуумирования процесса пропитки технологически сложно. Наиболее эффективным способом улучшения смачиваемости волокон наполнителя и облегчения проникновения полимерного связующего является физическое модифицирование полимерного связующего под воздействием ультразвуковых колебаний высокой интенсивности [2,3].

IV. Пропитка с применением ультразвуковых колебаний высокой интенсивности.

Важнейшим преимуществом ультразвуковой модификации является возможность снижения вязкости полимерного связующего в десятки раз. Благодаря этому облегчается проникновение связующего в межволоконное пространство волокнистого наполнителя. В результате происходит изменение физических свойств изделий из ПКМ после их полимеризации, кроме того, под воздействием кавитационных потоков происходит лучшее проникновение, активация, сопровождающееся интенсивной дегазацией в области пропитки полимерным связующим. Ульт-

развуковая дегазация ведёт к значительному уменьшению количества воздушных газовых включений в изделии из ПКМ, что ведёт к повышению его качества и прочности.

В настоящее время наибольшее распространение получили два типа устройств для ультразвуковой пропитки волокнистых наполнителей, основанные на виброакустическом эффекте (рис.2.) и устройства для непосредственной обработки в пропиточной ванне (рис.3.).

Ультразвуковой способ, основанный на виброакустическом эффекте осуществляется следующим образом [2,9]. Воздействие ультразвуковыми колебаниями на пропитанный волоконный наполнитель 2 производят в воздушной среде, после пропиточной ванны 3 до стадии отжима. Ультразвуковые колебания, распространяясь по волокнам наполнителя сдвигают волокна, уплотняют их и вытесняют воздушные включения.

Недостатки такой пропитки заключаются в том, что обработка волокон наполнителя производится неравномерно, с одной стороны, в воздушной среде и при малой амплитуде колебаний. В таком устройстве отсутствует предварительная обработка [8] и дегазация полимерного связующего непосредственно в пропиточной ванне. Основная пропитка полимерным связующим при этом происходит только за счёт капиллярного эффекта, что значительно снижает скорость пропитки. В пропиточной ванне накапливается большое количество воздуха, который оста-

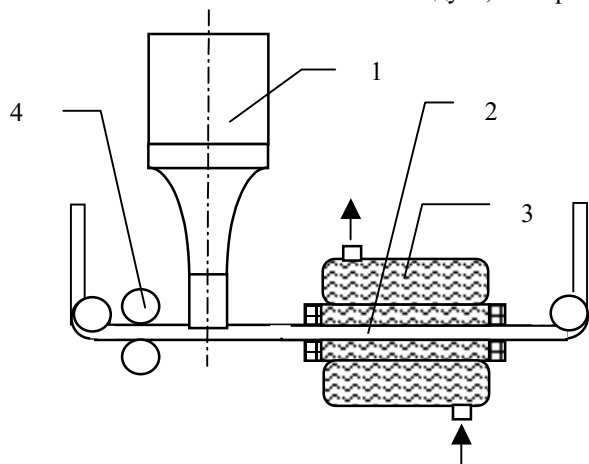


Рис. 2. Ультразвуковая пропитка виброакустическим эффектом

ётся в связующем.

Ультразвуковой способ пропитки в пропиточной ванне, представленный на рис. 3. имеет некоторые преимущества, заключающиеся в том, что воздействие интенсивных ультразвуковых колебаний [7] на полимерное связующее.

Осуществляется воздействие интенсивных ультразвуковых колебаний на полимерное связующее, изменяя его свойства, на порядок снижается вязкость. При этом повышается скорость проникновения полимерного связующего в межволоконное пространство, сопровождающееся интенсивной дегазацией и активацией под воздействием

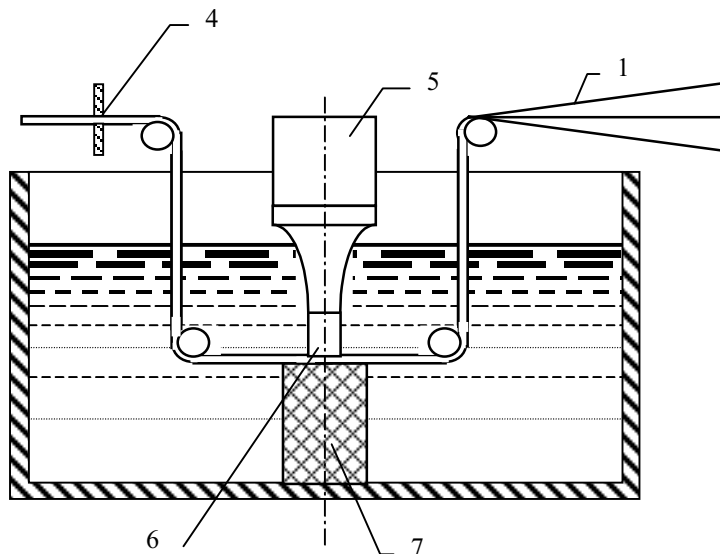


Рис. 3. Ультразвуковая пропитка в пропиточной ванне

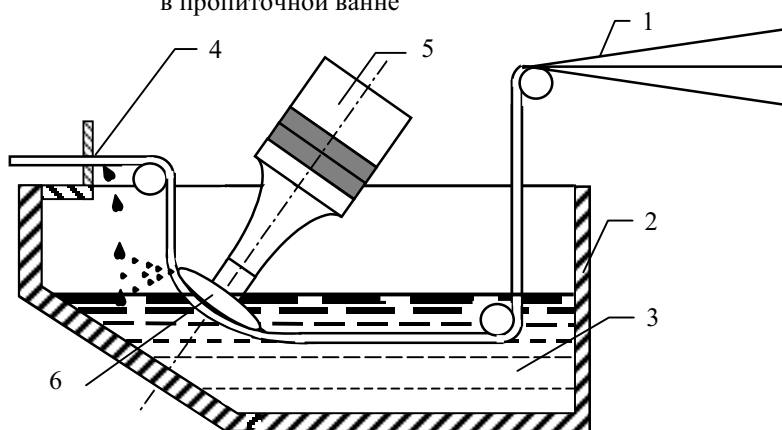


Рис. 4. Устройство для качественной ультразвуковой пропитки

кавитационных потоков. Кроме того, производится прижим волоконного наполнителя 1 к излучающей поверхности концентратора 6 эластичным материалом 7 для более равномерной и качественной пропитки.

Основные недостатки такого способа ультразвуковой пропитки заключаются в следующем: Обработка волоконного наполнителя и дегазация полимерного связующего происходит непосредственно в зоне контакта с эластичным материалом. Это ведёт к снижению амплитуды колебаний и снижению дегазации во всём объёме пропиточной ванны. Интенсивная дегазация производится только в зоне контакта с эластичным материалом. Образовавшиеся в процессе ультразвуковой обработки и кавитации под поверхностью инструмента концентратора воздушные пузыри всплывают непосредственно в зоне пропитки и остаются в волоконном наполнителе, ухудшая качество конечного изделия из ПКМ.

Выявленные недостатки, используемых устройств ультразвуковой пропитки снижают эффективность ультразвукового воздействия и обуславливают необходимость

разработки более эффективного способа ультразвуковой пропитки, и создания устройства, способного обеспечить максимально эффективное ультразвуковое воздействие на связующее и наполнитель.

V Повышение эффективности ультразвуковой пропитки.

Для устранения недостатков имеющихся устройств для ультразвуковой пропитки волоконного наполнителя предложено и разработано ультразвуковое устройство для пропитки, представленное на рис.4.

Предлагаемое устройство ультразвуковой пропитки наполнителя связующим работает следующим образом. Армирующий волокнистый наполнитель, состоящий из множества непрерывных волокон 1 формируется в пучок и с помощью прижимных роликов поступает и протягивается через ванну 2 со связующим 3 до выходного устройства 4, обеспечивающего удаление излишков связующего.

Основными преимуществами использования такого устройства для ультразвуковой обработки в процессе пропитки являются снижение времени пропитки и уменьшение включений воздуха в ПКМ и возможность полной автоматизации процесса [4]. В предложенном устройстве ультразвуковая колебательная система располагается под углом к волоконному наполнителю. При этом, часть рабочего инструмента располагается в связующем, а часть вне связующего, обеспечивая допропитку и удаление оставшегося воздуха.

Такое конструктивное исполнение обусловлено тем, что ультразвуковая обработка вышедшего из связующего наполнителя (на воздухе) повышает эффективность пропитки, способствует равномерному распределению связующего и удалению газовых пузырьков [9].

Часть рабочего инструмента, погруженная в связующее обеспечивает обработку и дегазацию полимерного связующего во всём объёме из-за отсутствия эластичного прижимного материала. Прижим осуществляется за счёт выбора формы излучающей поверхности рабочего инструмента. Нижнюю стенку ванны в месте размещения над ним рабочего инструмента колебательной системы выполняют под углом к поверхности связующего в ванне, перпендикулярным акустической оси колебательной системы. Расстояние от поверхности рабочего инструмента до дна выбирают равным половине длины волны ультразвуковых колебаний в связующем на рабочей частоте колебательной системы. Выполнение стенки ванны в зоне обработке параллельной рабочей поверхности и обеспечение резонансного усиления УЗ колебаний за счет выбора расстояния между излучающей поверхностью и стенкой равной половине длины волны позволяет обеспечить повышение амплитуды колебаний в зоне обработки и у стенки ванны.

Увеличение амплитуды колебаний у стенки ванны позволяет повысить эффективность обработки связующего, насыщенного воздухом, возвращаемого после отжима в ванну. Выбранное размещение колебательной системы и рабочего инструмента исключает попадание выделяющихся в процессе обработки газов в обрабатываемый на-

полнитель. Пузырьки воздуха всплывают перед непогруженной в связующее частью рабочего инструмента.

Конструктивное исполнение предлагаемого устройства позволило исключить недостатки существующих на сегодняшний день ультразвуковых устройств пропитки волоконного наполнителя полимерным связующим.

Для обеспечения условия возникновения развитой кавитации в полимерном связующем интенсивность ультразвуковых колебаний должна составлять $2...3 \text{ Вт/см}^2$ [10]. Для обеспечения такой интенсивности была разработана и изготовлена специальная конструкция ультразвуковой колебательной системы. В состав колебательной системы входят три пакета пьезоэлектрических преобразователей с отражающими накладками и концентратор ультразвуковых колебаний, заканчивающийся рабочим инструментом ножевого типа.

Поскольку связующее представляет собой жидкость с большим коэффициентом вязкости, то для обеспечения кавитационного режима ультразвукового воздействия разработанное устройство обеспечивает амплитуду колебаний на излучающей поверхности не менее 50 мкм.

VI. Заключение

Предложенное и практически реализованное устройство ультразвуковой пропитки, представлено на рис.5. Устройство позволило организовать на производстве Бийского Завода Стеклопластиков ультразвуковую пропитку изделий из ПКМ, представляющих собой цельные стеклопластиковые стержни, диаметром от 2 до 10 мм. Проведённые лабораторные исследования и испытания изготов-



Рис.5. Устройство для повышения эффективности ультразвуковой пропитки

ленных изделий из ПКМ показали, что применение предложенного устройства для повышения эффективности пропитки целесообразно. Повысилось содержание связующего в стержнях на 3-4 % и составило 23,7...24,2 %,

повысилась прочность конечного продукта на 20% и химическая стойкость на 17%.

Таким образом, для повышения качества и прочности изделий из ПКМ было создано устройство, способствующее значительному улучшению смачиваемости волокон наполнителя, облегчающее проникновение связующего в межволоконное пространство волокнистого наполнителя.

Разработанное устройство применяется в течение длительного времени на Бийском Заводе Стеклопластиков для производства стержней и может быть рекомендовано для производств других изделий из ПКМ.

IX. Список литературы

1. Цыплаков О.Г. Научные основы технологии композиционно – волокнистых материала. – Пермь, 1974. – Ч.1. – 317 с.
2. Хозин В.Г., Каримов А.А., Череватский А.М., Полянский А.А., Мурафа А.В., Мурашов Б.А., Пименов Н.В. Модифицирование эпоксидных композиций ультразвуком // Механика композиционных материалов.- 1984. - № 4. – с. 702-706.
3. Прохоренко П.П., Дежкунов Н.В., Коновалов Г.Е. Ультразвуковой капиллярный эффект. Минск, «Наука и техника», 1981, 135с.
4. Городнищенский П.Л., Косенков В.А., Статников В.Ш., Тросиянецкий Е.С. Ультразвуковая пропитка стеклоткани конструкций из стеклопластиков. Материалы IX Всесоюзной акустической конференции. – М.: 1978, с 103-106.
5. Справочник по композиционным материалам: В 2-х кн. под ред. Дж. Любина; Пер. с англ. А.Б.Геллера и др.–М.: Машиностроение, 1988.
6. Гершгал Д.А., Фридман В.М. Ультразвуковая технологическая аппаратура. – М., 1976. -316 с.
7. United States Patent № 4689244. Int. Cl. B05D3/12, Aug.25, 1987. Donald I. Lusk, A.O. Smith Corporation, Milwaukee, Wis.
8. Колосов А.Е., Хозин В.Г., Каримов А.А., Клявкин В.В. Пропитка волокнистых наполнителей полимерными связующими // Механика композиционных материалов.- 1988. - № 4. – с. 651-659.
9. Колосов А.Е., Хозин В.Г., Каримов А.А. Виброакустический эффект при ультразвуковой пропитке волокнистых композитов // Механика композиционных материалов.- 1987. - № 4. – с. 743-746.
10. Хмелев В.Н., Башара В.А., Никитин А.А., Цыганок С.Н., Барсуков С.В. Создание ультразвуковой установки для пропитки изделий из композиционных полимерных материалов. Сб. тез. докладов международной научно - практической конференции «Композиты – в народное хозяйство России» (Композит'99). – Барнаул: АлтГТУ, 1999, с.42-43