

УДК 674.8:630*836.002.5

ВЛИЯНИЕ ВНЕШНИХ НАГРУЗОК НА РАЗРУШЕНИЕ
КОМПОЗИТА НА ТЕРМОРЕАКТИВНОЙ СМОЛЕ

Т. Н. Стородубцева

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный
Лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова»

E-mail: tamara-tns@yandex.ru

Анализируя большое число работ, посвященных механике композиционных материалов, можно сделать вывод, что разрушение их вызывается постепенным возникновением и развитием микротрещин [1-7], однако следует отметить, что до сих пор нет единого мнения о физической сущности и механизме процесса разрушения высоконаполненных полимерных материалов на основе термореактивных смол [5, 8, 9]. Выяснение же причин разрушения стекловолоконистого композиционного материала (КМ, ранее ПБ), разработанного в ВГЛТА [8-11], осложняется еще и тем, что его матрицей является, в отличие от стеклопластиков, не отвержденная смола, а полимербетонный камень. Вместе с тем наличие стекловолоконистой арматуры сближает свойства этих материалов и их структуры (рис. 1 и 2).

Таким образом, стекловолоконистому КМ присущи достоинства и недостатки как полимербетонов, так и стеклопластиков. В частности необходимо ориентироваться в целой гамме возможных дефектов его структуры, поскольку он является составной частью древесностекловолоконистого КМ, используемого для отливки железнодорожных шпал [10-13].

Предлагаем классифицировать дефекты компонентов стекловолоконистого КМ следующим образом:

I Дефекты полимербетонной матрицы: 1) технологические дефекты вблизи поверхности изделия. К ним относятся раковины, возникшие в результате захвата воздуха при заливке полимербетонной смеси в опалубку, раковины, возникшие при разборке опалубки в результате прилипания полимербетонной смеси к ее стенкам при некачественной антиадгезионной смазке; раковины вокруг возможных инородных включений, или, например, кусков крупного заполнителя, не покрытых полимерной пленкой; 2) местные трещины полимерной пленки, вызванные концентрацией напряжений вокруг частиц наполнителя и заполнителя при усадке в процессе полимеризации, а также из-за различия коэффициентов термического расширения смолы и этих частиц; 3) воздушные поры различной формы, размеры которых при

поверхности наполнителя 1 м^2 составляют от 10 до 100 мкм [8, 10, 11] (рис. 2); 4) наличие в полимербетоне фурфуролацетонового мономера включений БСК, которая растворима в агрессивных жидкостях, в том числе и в воде.



Рисунок 1 – Микрофотография структуры поперечного сечения ориентированного стекловолокнистого полимербетона (схожесть со структурой аналогичных



Рисунок 2 – Микрофотография структуры поперечного сечения хаотически армированного СВПБ (черные пятна на фотографии – воздушные поры различной формы), $\times 640$

II Дефекты, возникшие в результате армирования стеклянными волокнами: 1) дефекты возле концов волокон конечной длины; 2) начальная изогнутость волокон; 3) плохая пропитка полимерным связующим стеклонитей, сетки и т. п.

Перечисленные выше дефекты, связанные, в основном, с нарушением регламента отливки изделий из древесного стекловолокнистого композиционного материала, являются причиной местных разрушений в полимерной матрице или волокнах, что учитывалось при разработке технических условий [13].

Под действием приложенной внешней нагрузки и жидкой агрессивной среды, например в воде, в местах первоначальных дефектов образуются очаги концентрации напряжений, субмикротрещины начинают развиваться, что может привести к любому из многочисленных видов разрушения.

Если первопричина начала процесса разрушения достаточно ясна, то теоретически его развитие может зависеть от самых различных факторов, а именно: 1) вида напряженного состояния и длительности действия нагрузки; величины модулей упругости термореактивной смолы, наполнителя и заполнителя; 2) вида стекловолокнистой арматуры; 3) размера и объемного содержания частиц наполнителя и заполнителя; 4) степени связи по поверхности раздела; 5) различия величин коэффициентов температурного расширения компонентов композиционного материала; 6) вида агрессивной среды и стойкости к ней этих компонентов.

Однако, какова бы ни была причина возникновения субмикротрещины в полимербетонной матрице (дефекты группы «I»), путь ее развития, ее вершина должна оказаться вблизи поверхности – частицы наполнителя или заполнителя. Тогда, как констатирует В. В. Патуроев [5] и Ф. Ф. Ленг [4, с. 11-58], трещина пойдет или вдоль поверхности частицы, если ее модуль упругости больше модуля упругости смолы, или произойдет разрыв частицы, если соотношение модулей противоположное.

Эту концепцию подтверждают и наши исследования. С помощью оптического микроскопа изучали, а затем фотографировали шлифы поперечных сечений образцов стекловолокнистого композиционного материала, подвергавшихся предварительному нагружению до 90 % от предела прочности при чистом изгибе [10].

На рисунке 3 можно наблюдать, что, зародившись в области местной концентрации напряжений у воздушной поры (черное пятно неправильной формы в левом верхнем углу фотографии), трещина обходит частицы заполнителя.

Действительно, если вспомнить исходные характеристики материалов полимербетона на смоле ФАМ с заполнителем в виде песка, имеющих модули упругости, равные $3,13 \times 10^3$ МПа и 5×10^4 МПа соответственно, то путь трещины должен был оказаться именно таким, какой показан на рисунке 3. Очевидно, что подобная трещина может привести к окончательному разрушению образца, если отсутствует, например армирование стекловолокном, которое должно способствовать ее эффективной локализации.



Рисунок 3 – Микрофотография поперечного сечения образца полимербетона ПН-10 (видна развитая микротрещина и ее путь вокруг частицы заполнителя), $\times 640$

верхности волокон, либо поперек их.

Эти две категории трещин выделяют, например Б. И. Розен и Н. Ф. Дау [14], рассматривая разрушение ориентированно армированных стеклопласти-

В стекловолокнистом полимербетоне начало разрушения может происходить не только из-за дефектов полимербетонной матрицы, но и в результате появления очагов высокой концентрации напряжений, возникающих при ориентированном армировании стекловолокном (дефекты группы «II»). Путь трещины при продольном растяжении в этом случае может быть также двояким: либо вдоль по-

ков. Примерно такое же деление приводят Х. Т. Кортен [1], К. Чамис [4, с. 106-163] и К. Шами [2, с. 42-88]. К. Чамис анализирует также виды разрушения при продольном и поперечном (по отношению к волокнам) растяжении и сжатии, сдвиге [4, с. 122-127], где характер трещин несколько иной.

В каком бы направлении ни пошла микротрещина после приложения внешней нагрузки, сливаясь в процессе нагружения или длительного действия нагрузки и агрессивной среды с соседними микротрещинами, она образует макротрещину, а затем поверхность разрушения, по характеру которой можно судить о качестве адгезионных связей на поверхности раздела и, в конечном итоге, о причине разрушения материала.

Для упрощения расчета и анализа напряженного состояния на поверхности раздела принято считать, что ее толщина равна нулю. Однако между стекловолоконным и связующим существует промежуточный адгезионный слой, причем некоторые исследователи полагают, что любое разрушение начинается именно в нем [14]. В связи с этим следует, очевидно, говорить не о поверхности, а о зоне раздела [9].

По современным представлениям природа адгезии композитов определяется, в основном, тремя типами связей: химическими, электрическими и механическими [2]. Мы не ставили себе цель исследовать природу этих связей, но характер разрушения поверхности образцов стекловолокнистого КМ под действием как кратковременных, так и длительных нагрузок позволил сделать следующие выводы:

– при правильном выборе схемы нагружения при изгибе, отсутствии перекосов и сплошной поверхности заземления концов образцов в зажимах испытательной машины при растяжении, о наличии сильных адгезионных связей между полимербетонной матрицей и стекловолокном свидетельствует поверхность разрушения, проходящая поперек волокон (рис. 4);

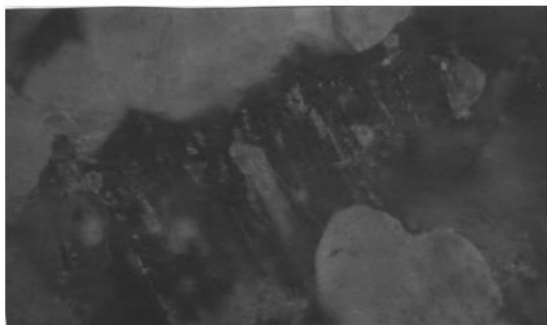


Рисунок 4 – Микрофотография трещины в образце стеловолокнистого ПБ, прошедшей перпендикулярно волокнам, $\times 640$

– если адгезионные связи слабые или не соблюдаются перечисленные выше требования к схеме нагружения и заземлению концов образцов, то поверхность разрушения при растяжении пройдет вдоль волокон (рис. 5);

– несмотря на отсутствие аппретов в основных оптимальных составах стекловолокнистого КМ, в них обеспечивает-

ся достаточно высокая степень адгезионных связей по поверхности раздела.

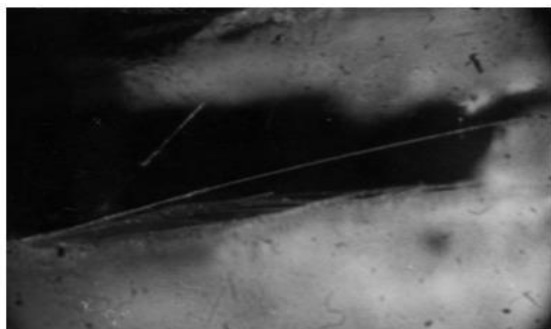


Рисунок 5 – Микрофотография трещины в образце стекловолокнистого ПБ, прошедшей параллельно волокнам, $\times 640$

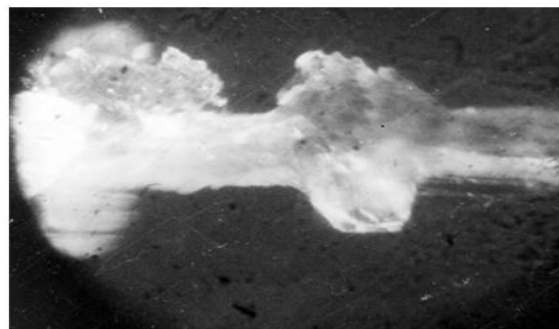


Рисунок 6 – Микрофотография стекловолокна, извлеченного из пучка волокон, взятых на поверхности разрушения (частицы смолы и наполнителя на его поверхности свидетельствуют о наличии высокой адгезионной связи). $\times 700$

Об этом свидетельствует вид поверхности разрушения, наличие частиц смолы и наполнителя на поверхности стеклянных волокон (рис. 6), а также результаты испытаний древесного стекловолокнистого КМ на ползучесть при одновременном действии воды [15], подтвердившие эффективность применения стекловолокнистого КМ в наружных слоях железнодорожных шпал из древесного стекловолокнистого КМ при строгом соблюдении технологического регламента [13], например помещении не менее трех слоев стеклосетки в верхних и нижних частях поперечного сечения из древесного стекловолокнистого КМ [10].

Библиографический список

- 1 Кортен, Х. Т. Разрушение армированных пластиков [Текст] / Х. Т. Кортен. – М. : Химия, 1967. – 165 с.
- 2 Поверхности раздела в полимерных материалах [Текст] / Под ред. Э. Плюдемана // Композиционные материалы. – М. : Мир, 1978. Т. 6. – 294 с.
- 3 Механика композиционных материалов [Текст] / Под ред. Дж. Сендечки / Композиционные материалы. – М. : Мир, 1978. Т. 2. – 564 с.
- 4 Разрушение и усталость [Текст] / Под ред. Л. Браутмана / Композиционные материалы. – М. : Мир, Т. 5, 1978. – 484 с.
- 5 Патуроев, В. В. Полимербетоны [Текст] / В. В. Патуроев // НИИ бетона и железобетона. – М. : Стройиздат, 1987. – 286 с.
6. Baumann, H. Method of preventing corrosion in connection with extrusion of mixtures containing polyvinylchloride and wood flour or similar cellulosic materi-

al and analogous mixtures containing polystyrene or acrylonitrile-butadiene-styrene resin, respectively : pat. US 3878143 C 08 L 27/00/. Н. Baumann, А. Kriisa and H.E. Grahn. ; assignee : Sonesson Plast AB, Malmo, Sweden. – № 05 / 411509; filling date 31.10.1973, publication date 15.04.1975. – 3 p.

7 Shinomura, T. Thermoplastic resin composition including wood fibrous materials : pat. US 3888810 C 08 K 7/00/T. Shinomura; assignee : Nippon Oil Co., Ltd. Tokyo, (JA). – № 05 / 377711; filling date 09.07.1973, publication date 10.06.1975. – 4 p.

8 Армополимербетон в транспортном строительстве [Текст] / Под ред. В. И. Соломатова. – М. : Транспорт, 1979. – 232 с.

9 Харчевников, В. И. Основы структурообразования стекловолокнистых полимербетонов [Текст] / В. И. Харчевников // Известия вузов. Строительство и архитектура. – 1987. – № 11. – С. 62-66.

10 Стородубцева, Т. Н. Композиционный материал на основе древесины для железнодорожных шпал : Трещиностойкость под действием физических факторов : моногр. – Воронеж : Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2002. – 216 с.

11 Стородубцева, Т. Н. Производство железнодорожных шпал из отходов лесной промышленности [Электронный ресурс] / Т. Н. Стородубцева, А. М. Томилин, Н. В. Федянина, В. И. Харчевников // Воронежский научно-технический вестник. – 2012. – № 2 (2). – С. 85-92.

12 Стородубцева, Т. Н. Строительные древесностекловолокнистые композиционные материалы для изделий специального назначения : автореф. ... д-ра. техн. наук : 05.23.05 / Т.Н. Стородубцева ; Гос. образоват. учреждение высш. проф. образования "Воронеж. гос. архитектур.-строит. ун-т". – Воронеж, 2005. – 42 с.

13 Технические условия – ТУ 5340-001-02068097-96* с изменениями и дополнениями от февраля 2001 г. Шпалы для железнодорожных, трамвайных и лесовозных путей на полимерной основе и технологический регламент (с изменениями и дополнениями) [Текст] / В. И. Харчевников, С. Ю. Зобов, Т. Н. Стородубцева. – Воронеж : ЦСМ, 2001. – № 040 / 001787. – 31 с.

14 Розен, Б. У. Механика разрушения волокнистых композитов [Текст] / Б. У. Розен, Н. Ф. Дау // Разрушение / Под ред. Г. Либовица. – М. : Мир, 1976. Т. 7, ч. 1. – С. 305-328.

15 Стородубцева, Т. Н. Композиционные материалы, подвергающиеся знакопеременным нагрузкам, используемые в изделиях специального назначения [Электронный ресурс] / Т. Н. Стородубцева, В. И. Харчевников, Н. В. Федянина, А. М. Томилин // Воронежский научно-технический вестник. – 2013. – № 1 (3).