

Л.В. Чурсова<sup>1</sup>, М.А. Ким<sup>1</sup>, Н.Н. Панина<sup>1</sup>, Е.П. Швецов<sup>1</sup>

## НАНОМОДИФИЦИРОВАННОЕ ЭПОКСИДНОЕ СВЯЗУЮЩЕЕ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНДУСТРИИ\*

*Разработанное двухкомпонентное связующее состоит из смеси низковязкой эпоксидной диановой смолы, модифицированной нанодисперсным порошком оксида алюминия, и жидкой отверждающей системы каталитического типа, содержащей гетероциклические мономеры с активными гидроксильной и аминной группами. Связующее и ПКМ на его основе характеризуются высокими прочностными характеристиками и необходимым комплексом эксплуатационных свойств, обусловленными высокой технологичностью разработанного связующего, использованием нанодисперсных модификаторов, повышенными физико-механическими свойствами отвержденной полимерной матрицы, а также используемой современной технологией переработки.*

**Ключевые слова:** эпоксидное связующее, нанодисперсный порошок оксида алюминия, ПКМ, несущие строительные конструкции.

L.V. Chursova<sup>1</sup>, M.A. Kim<sup>1</sup>, N.N. Panina<sup>1</sup>, E.P. Shvetsov<sup>1</sup>

## NANOMODIFIED EPOXY BINDER FOR THE CONSTRUCTION INDUSTRY

*The developed two-component binder consists of the mixture of low-viscous epoxy dianic resin, modified by nanodispersed alumina powder and liquid curing system of catalytic type, containing heterocyclic monomers with active hydroxyl and amine groups. The binder and polymer composite material on its base are characterized by the high strength characteristics and the necessary complex of service properties due to the high technological efficiency of the developed binder, the use of nanodispersed modifiers, improved physico-mechanical properties of cured polymer matrix, as well as the applied present-day processing technology.*

**Keywords:** epoxy binder, nanodispersed alumina powder, polymer composite, bearing building structures.

---

<sup>1</sup> Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Государственный научный центр Российской Федерации [Federal state unitary enterprise «All-Russian scientific research institute of aviation materials» State research center of the Russian Federation] E-mail: admin@viam.ru

Все традиционно применяемые в строительстве материалы основаны на природных вяжущих (скрепляющих) веществах: глина, цемент, асбест, гипс и др. Эти вещества добываются или производятся в больших количествах и являются доступными и дешевыми материалами. Однако они имеют высокую удельную массу, низкие физико-механические характеристики при изгибе и растяжении и стойкость к агрессивным средам. Используемые современные полимерные композиционные материалы (ПКМ) имеют относительно высокую стоимость, но обладают комплексом положительных свойств: малой удельной массой, высокими физико-механическими характеристиками, стойкостью к агрессивным средам, тепло- и звукоизоляционными свойствами и др.

---

\* В работе принимали участие: И.С. Деев, А.Н. Бабин, И.И. Соколов, Т.А. Гребенева, Я.М. Гуревич, А.И. Ткачук, П.Л. Журавлева.

Удельная прочность и жесткость строительных конструкций из стеклопластиков и углепластиков значительно выше, чем конструкций, изготовленных из большинства традиционных материалов. Эти показатели у стеклопластиков больше в 6–8 раз, чем у пиломатериалов, и в 5–7 раз – чем у прессованной фанеры. Большие затраты на производство ПКМ окупаются относительно быстро, так как ресурс изделий из них по сравнению с традиционно применяемыми материалами увеличивается минимум в 2–3 раза, а иногда и на порядок. Одновременно обеспечивается снижение энергозатрат и материалоемкости в 2–5 раз, а также расходов на транспортировку и монтажные работы. В последнее время при выборе материала для изготовления крупногабаритных и нагруженных конструкций несущих строительных опор и траверсов линий электропередач по передовым технологиям предпочтение отдается ПКМ, армированным стеклонеполнителем [1, 2].

Для получения крупногабаритных ПКМ во всем мире активно используется перспективная и низкзатратная технология – вакуумное инфузионное формование (VARTM, Vacuum assisted resin transfer molding – пропитка под вакуумом), с помощью которой можно получать материалы с высокими эксплуатационными характеристиками, не прибегая к отверждению в автоклаве. Технология пропитки под вакуумом предусматривает пропитку и формование детали на оснастке с закрепленным на ней вакуумным мешком. Связующее закачивается в форму не за счет избыточного давления, а за счет разряжения, создаваемого под вакуумным мешком. Указанные приемы позволяют существенно снизить затраты на подготовку производства конструкций благодаря применению конструктивно более простой и дешевой оснастки, отсутствия необходимости приобретения оборудования для подачи связующего в форму и т. д. [3].

Важной задачей современного материаловедения является получение «легированных» композитов – нанокомпозитов. Известно, что твердое вещество при переходе от грубодисперсного состояния к состоянию с размером частиц  $<100$  нм резко изменяет ряд своих свойств. Изменение фундаментальных свойств традиционных материалов в нанодисперсном состоянии (понижение температуры начала плавления, теплоты испарения, энергии ионизации, работы выхода электронов и др.) открывает широчайшие возможности в области создания новейших материалов.

Исследования, связанные с применением наносистем в строительном материаловедении, развиваются достаточно активно. Композиционные материалы, включающие в свой состав наночастицы, зачастую демонстрируют повышенные физико-механические свойства уже при малом содержании нанонаполнителя (до 1% (по массе)), что выгодно отличает материалы этого типа от «традиционных» композиционных материалов. Возможность получения материалов с улучшенными характеристиками при низких температурах нанонаполнения обусловлена развитой удельной поверхностью частиц нанонаполнителя и, соответственно, высокой площадью контакта между ним и полимерной матрицей [4].

В настоящее время широкое применение в качестве наномодификаторов термопластов и терморезистивных полимеров и олигомеров при получении полимерных нанокомпозитов конструкционного и специального назначения находят упорядоченные формы углерода, такие как фуллерены, углеродные нанотрубки и т. п., а также природные наноглины (модифицированный монтмориллонит) или традиционные нанодисперсные порошки (минеральные или металлические) [5].

В качестве наиболее перспективных наномодификаторов при создании эпоксидного связующего для строительных конструкций рассматривались нанопорошки (НП). Длительные исследования в области НП, а также относительно несложная (в сравнении с другими формами нанонаполнителей) технология изготовления способствовали тому, что сегодня это один из наиболее развитых коммерческих сегментов наноиндустрии в России. Нанопорошки – простейший наномодификатор, или, как их еще называют в

зарубежной технической литературе, – «нанотех предыдущего поколения» [1]. Достоинством этих наноматериалов по сравнению с углеродными формами являются их промышленная доступность и дешевизна.

Основными факторами, обуславливающими структурирующую активность нанодисперсных порошков в ходе направленного модифицирования полимерных материалов, являются:

- создание дисперсной фазы в объеме полимера;
- смачиваемость дисперсных частиц полимерным материалом [6, 7].

Одним из наиболее дешевых и доступных материалов в области нанопорошковой индустрии в настоящее время является ультрадисперсный порошок оксида алюминия. Рассмотрены два вида ультрадисперсных порошков оксида алюминия отечественных производителей, получаемых по различным технологиям и с различными значениями удельной поверхности (табл. 1) [8].

Таблица 1

**Свойства ультрадисперсных порошков из оксида алюминия, используемых для наномодификации связующего**

Характеристики	Нанопорошок, оксид алюминия	
	сферический (ТУ 2123-044-00209013–2006)	плазмохимический (ТУ 1791-005-40289795–2010)
Изготовитель	ФГУП «ГНИИХТЭОС» (г. Москва)	ООО «Ультрадисперсные системы» (г. Москва)
Способ изготовления	Плазменная технология	Плазмохимический способ
Внешний вид	Порошок белого цвета без видимых включений	Порошок серого цвета без видимых включений
Массовая доля металлического (активного) алюминия, % по массе (не более)	0,4	–
Массовая доля воды, % (не более)	0,1	0,1
Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /г	20,0	29,6

Известны несколько характеристик нанопорошков, которые очень важны для оценки их качества. Одними из главных являются средний размер и спектр распределения частиц по размерам, которые существенно зависят от метода получения порошка, а также способность мелких наночастиц к агрегации [9].

Проведены электронно-микроскопические исследования образцов нанодисперсных порошков оксида алюминия на сканирующем электронном микроскопе JSM-35CF («Jeol», Япония) и осуществлена количественная обработка полученных структур с применением программного обеспечения анализа изображений «Image Scope Color».

Исследование микроструктуры поверхности образцов нанодисперсных порошков оксида алюминия показало, что размеры частиц обоих порошков имеют явно выраженный бимодальный характер. Однако нанодисперсный порошок оксида алюминия сферического имеет в своем составе частицы меньшего размера и более однороден по составу, чем порошок оксида алюминия плазмохимического, что, вероятно, связано со способом получения нанопорошков.

Важной особенностью нанопорошков является способность частиц к агрегации, что вызывает большие затруднения при создании качественных конструкционных материалов, так как не всегда удается распределить равномерно все наночастицы по объему и они существуют как частицы микронного размера. В результате введенные таким образом наномодификаторы практически не меняют качество материала, а зачастую ухудшают его свойства.

Исследования микроструктур поверхности образцов нанодисперсных порошков оксида алюминия показали, что частицы обоих порошков образуют агрегаты, но в про-

центном отношении в нанодисперсном порошке оксида алюминия сферического на долю агрегатов приходится меньшее количество, чем в порошке оксида алюминия плазмохимического.

На основании проведенных исследований для дальнейшего использования в качестве компонента связующего был выбран нанодисперсный порошок оксида алюминия сферического.

Полимерные связующие на основе эпоксидных олигомеров, применяемые для вакуумной инфузионной технологии, должны обладать следующими технологическими параметрами:

- невысокой исходной вязкостью композиции, способствующей легкому инжектированию;
- возможностью равномерно распределяться между волокнами наполнителя при инжектировании под действием разряжения (этот процесс напрямую зависит от смачиваемости компонентов, вязкости связующего и его энергии поверхностного натяжения);
- выбранная температура для инъекции связующего должна обеспечивать длительное сохранение низкой вязкости;
- гомогенным совмещением всех компонентов полимерной композиции, способствующим легкой инфильтрации связующего и проникновению через волокнистый наполнитель;
- достаточной жизнеспособностью композиции в период хранения перед применением.

Выбранная технология для получения толстостенных крупногабаритных изделий из ПКМ наиболее удобна при использовании двухкомпонентного связующего, способного отверждаться без подведения дополнительного тепла на начальной стадии переработки и при дальнейшем его доотверждении при повышенной температуре.

Разработанное двухкомпонентное связующее состоит из смеси низковязкой эпоксидной диановой смолы, модифицированной ультрадисперсным порошком оксида алюминия сферического, и жидкой отверждающей системы каталитического типа, содержащей гетероциклические мономеры с активными гидроксильной и аминной группами, и характеризуется необходимым комплексом технологических характеристик связующего для производства крупногабаритных изделий из ПКМ.

Использование модифицированных связующих для изготовления ПКМ методом вакуумной инфузии возможно лишь в случае равномерного диспергирования нанопорошка по объему жидкого связующего. В этом случае не происходит фильтрации наномодификатора при пропитке армирующего наполнителя. Для решения этой задачи процесс совмещения эпоксидной смолы с наномодификатором проходил с использованием ультразвукового диспергирования при температуре  $<60^{\circ}\text{C}$  в течение  $\sim 20\text{--}40$  мин.

Для определения характера распределения наномодификатора в связующем был проведен рентгеноструктурный анализ нанодисперсного порошка оксида алюминия сферического, образца разработанного наномодифицированного связующего и его полимерной основы без нанонаполнителя (рис. 1). Исследование образцов выполнено на дифрактометре D/MAX-2500 (фирма «Rigaku») с монохроматическим  $\text{Cu } K_{\alpha}$ -излучением. Диапазоны сканирования в интервале углов  $2\theta$ :  $2\text{--}80$  град (для порошка  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) и  $2\text{--}40$  град (для отвержденных связующих). Расшифровка дифрактограмм проведена с применением специализированной программы Jade5 и базы данных PDF2.

На представленной дифрактограмме образца наномодифицированного связующего (см. рис. 1, кривая 3) отсутствуют кристаллические пики, характерные для оксида алюминия, что свидетельствует о полном диспергировании частиц модификатора и получении отвержденного наномодифицированного связующего с равномерным распределением всех компонентов.

Процесс отверждения наномодифицированного связующего в контакте со стеклонанополнителем изучали методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) на калориметре DSC204 F1 фирмы «Netzsch» (рис. 2).

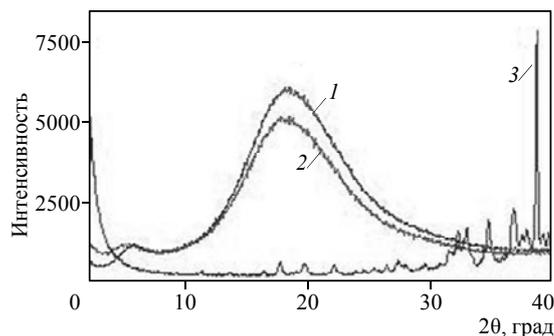


Рис. 1. Дифрактограммы образцов наномодифицированного связующего и его компонентов: 1 – полимерная основа связующего без нанонаполнителя; 2 – нанодисперсный порошок оксида алюминия сферического; 3 – образец разработанного наномодифицированного связующего

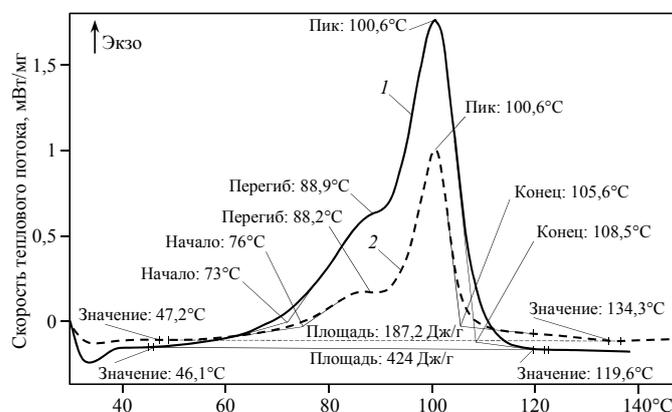


Рис. 2. Кривые ДСК процесса отверждения образца наномодифицированного связующего (1) и препрега (стеклоткань Т-10(ВМП)-4с), изготовленного на его основе (2). Условия исследования: атмосфера – азот; скорость нагрева образца 5°C/мин; тепловой эффект реакции отверждения связующего на препреге рассчитан на массу препрега

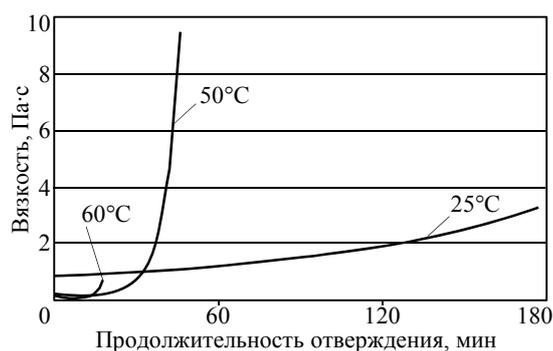


Рис. 3. Зависимость кажущейся вязкости образцов связующего от времени при изотермической выдержке при различных температурах

Установлено, что процесс отверждения связующего и препрега активизируется при температурах >48°C. Кривые ДСК (см. рис. 2) имеют сложную форму с двумя максимумами при температурах ~89 и ~101°C, один из которых представлен в виде плеча (перегиба) вследствие наложения пиков друг на друга. Наличие двух пиков объясняется

присутствием в отверждающей системе связующего двух реакционноспособных групп различной химической природы.

При температуре  $>73^{\circ}\text{C}$  наблюдается начало заметного экзотермического эффекта как для связующего, так и для препрега на его основе. Максимум реакционной активности наблюдается при  $100^{\circ}\text{C}$ . Значительное снижение скорости реакции отверждения наблюдается при температуре  $\sim 108^{\circ}\text{C}$ , а полностью завершается при  $\sim 134^{\circ}\text{C}$ . В соответствии с полученными данными был разработан оптимальный режим отверждения данного наномодифицированного связующего, согласно которому температура отверждения не превышает  $100^{\circ}\text{C}$ , а продолжительность – не более 8 ч. Следует отметить, что тепловые эффекты реакций отверждения у разработанного связующего (424 Дж/г) и препрега (444 Дж/г) – в пересчете на 100% связующего – имеют близкие значения, что говорит о незначительном влиянии наполнителя на процесс отверждения.

Для переработки связующего по вакуумной инфузионной технологии важное значение имеют вязкостные характеристики композиции и их изменения со временем. Исследование процесса пропитки пакета наполнителя по выбранной технологии показало, что возможно использовать разработанное связующее с максимальным показателем вязкости до  $2,5 \text{ Па}\cdot\text{с}$ . Такой уровень вязкости обеспечивает хорошую инфильтрацию связующего для осуществления полной пропитки пакета наполнителя.

После совмещения компонентов разработанной двухкомпонентной композиции холодного отверждения начинается химическая реакция, в ходе которой происходит изменение ее свойств: нарастание вязкости и изменение числа эпоксидных групп. На начальных стадиях процесса отверждения происходит рост вязкости связующего вследствие химических взаимодействий ограниченного числа молекул, которые приводят к увеличению молекулярной массы отдельных цепных структур, и только потом возникает единая трехмерная сетка, в которую входит значительная часть исходных цепей.

Исследования реологических характеристик образцов связующего проводили на вискозиметре Брукфильда LVDV-II+ с термоячейкой. Установлено, что вязкость связующего при изотермической выдержке при температурах  $25$ ,  $50$  и  $60^{\circ}\text{C}$  (рис. 3) характеризуется следующими значениями:  $0,7 \text{ Па}\cdot\text{с}$  при  $25^{\circ}\text{C}$ ;  $0,12 \text{ Па}\cdot\text{с}$  при  $50^{\circ}\text{C}$ ;  $0,08 \text{ Па}\cdot\text{с}$  при  $60^{\circ}\text{C}$ .

Достаточная низкая вязкость связующего ( $<1 \text{ Па}\cdot\text{с}$ ) при температуре  $25^{\circ}\text{C}$  дает возможность использовать для его переработки инфузионную вакуумную технологию. При данной температуре начальная вязкость связующего соответствует  $0,7 \text{ Па}\cdot\text{с}$  и затем возрастает до величины  $2,5 \text{ Па}\cdot\text{с}$  в течение 150 мин. Такое изменение в реологических свойствах связующего объясняется тем, что после совмещения компонентов связующего происходит начальная стадия реакции отверждения. Этот показатель времени следует считать технологической жизнеспособностью разработанного наномодифицированного связующего при  $25^{\circ}\text{C}$ , и в этот период времени связующее остается пригодным для переработки в ПКМ по вакуумной инфузионной технологии.

Полученные реокинетические кривые отверждения образцов связующего иллюстрируют изменение вязкости связующего при температурах  $25$ ,  $50$ ,  $60^{\circ}\text{C}$  со временем (см. рис. 3). Характер изотермического изменения вязкости наномодифицированного связующего во времени при образовании разветвленного эпоксиаминного полимера по механизму поликонденсации типичен для процессов, в которых реакция завершается образованием сшитых продуктов. Из рис. 3 видны основные реокинетические закономерности этого процесса:

– инверсия зависимости вязкости от температуры при возрастании температуры от  $25$  до  $60^{\circ}\text{C}$ , обусловленная тем, что с повышением температуры вязкость исходного образца связующего снижается, но при этом ускоряются химические реакции отверждения, приводящие к росту вязкости;

– резкое увеличение вязкости при приближении к точке гелеобразования (автокаталитический характер).

В отличие от технологической жизнеспособности, нормируемым показателем оценки реакционной способности композиции является время гелеобразования, определяющее стадию перехода эпоксидного связующего из жидкого состояния в гелеобразное в результате возникновения в объеме жидкости пространственной структурной сетки. Определение времени гелеобразования наномодифицированного связующего осуществлялось на гель-таймере фирмы «GELNORM®» с программным обеспечением, входящим в комплект поставки (рис. 4). Использование гель-таймера позволяет оценить все факторы, влияющие на время гелеобразования связующего: тип и качество отвердителя, катализатора, ингибитора, наполнителя, пигментов, а также температуру и влажность.

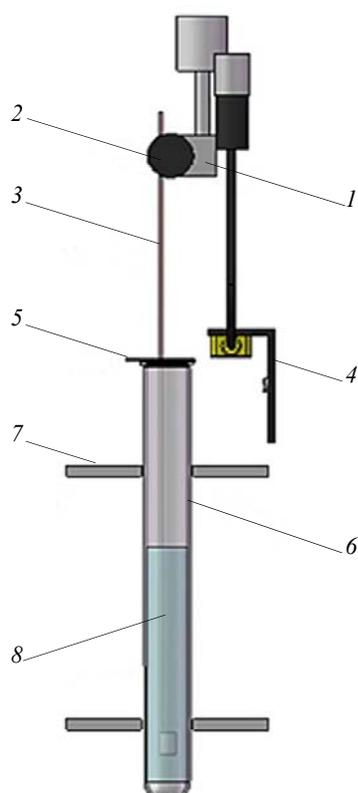


Рис. 4. Схема гель-таймера фирмы «GELNORM®» для определения времени гелеобразования связующего: 1 – держатель; 2 – винт; 3 – алюминиевый стержень; 4 – оптический датчик; 5 – покровная крышка; 6 – пробирка; 7 – пробиркодержатель; 8 – образец связующего

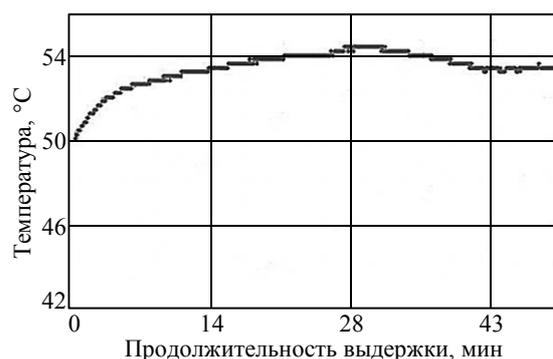


Рис. 5. Зависимость температуры связующего от времени при изотермической выдержке при температуре 50°C

Зависимость температуры связующего от продолжительности изотермической выдержки при температуре 50°C для определения времени гелеобразования приведена на рис. 5.

Связующее характеризуется временем гелеобразования при  $\tau_{50^{\circ}\text{C}}=50$  мин. Время гелеобразования является одним из основных технологических параметров при переработке связующего. Полученная зависимость времени гелеобразования при разных температурах связующего представлена в табл. 2.

Таблица 2

**Зависимость времени гелеобразования образцов из разработанного связующего**

Температура исследования, °С	Время гелеобразования, мин
25	1060
40	430
50	50
60	9

Полученные данные по зависимости гелеобразования наномодифицированного связующего от температуры необходимо учитывать для контроля и регулирования технологического процесса приготовления связующего, химических стадий его переработки и формирования изделий из него (пропитка и отверждение).

Проведены исследования физико-механических характеристик изготовленных образцов связующего и стеклопластика (стеклоткань Т-10(ВМП)-4с) на его основе, результаты которых приведены в табл. 3.

Таблица 3

**Физико-механические характеристики образцов отвержденного связующего и ПКМ на его основе**

Характеристики	Значения характеристик
<i>Связующее</i>	
Температура стеклования, °С	96
Прочность при растяжении, МПа	85
Прочность при статическом изгибе, МПа	187
<i>Стеклопластик на основе связующего и стеклоткани Т-10(ВМП)-4с</i>	
Температура стеклования, °С	101
Прочность при растяжении, МПа	794
Прочность при статическом изгибе, МПа	981

С помощью сканирующего электронного микроскопа JSM-35CF (фирма «Jeol», Япония) проведены электронно-микроскопические исследования микроструктуры поверхности отвержденного наномодифицированного связующего, полимерной основы связующего без нанонаполнителя, а также поверхности расслоения при различных испытаниях стеклопластика на основе разработанного связующего и стеклоткани Т-10(ВМП)-4с (рис. 6 и 7).

Микроструктурные исследования показали, что микрофазовая структура отвержденной полимерной основы связующего без нанонаполнителя однородна (см. рис. 6, а) и состоит из агрегатов частиц микродисперсной фазы (светлые участки на микрофотографии), которые относительно равномерно распределены в дисперсионной среде (темные участки). Размеры агрегатов дисперсных частиц находятся в диапазоне от 0,5 до 1,5 мкм.

В наномодифицированном связующем (см. рис. 6, б) ультрадисперсный модификатор находится в виде отдельных частиц и частично их агрегатов, которые распределены в полимере достаточно равномерно.

Введение частиц наномодификатора в связующее приводит к повышению плотности упаковки микродисперсной фазы в структуре отвержденного полимера.

В матрице полученного стеклопластика (см. рис. 6, в) на основе наномодифицированного связующего наблюдается уменьшение частиц микродисперсной фазы и фиксируется более эффективная диспергация агрегатов наномодификатора на отдельные частицы [10].

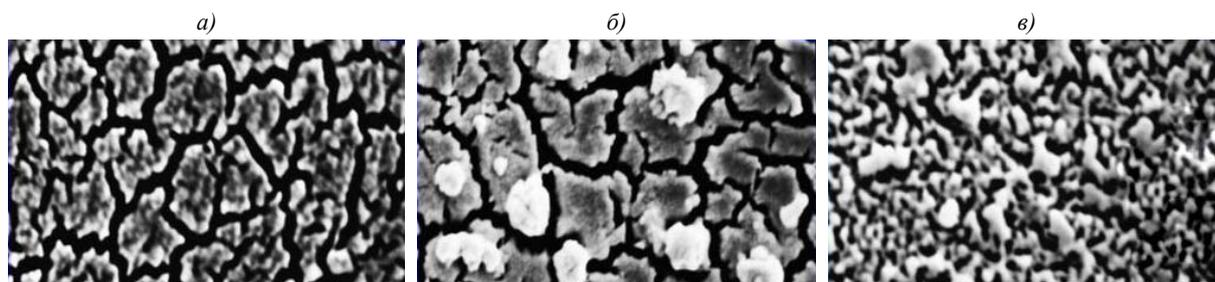


Рис. 6. Микроструктура ( $\times 10000$ ) поверхности отвержденного наномодифицированного связующего, его полимерной основы и стеклопластика: *а* – отвержденная полимерная основа связующего без нанонаполнителя; *б* – отвержденное наномодифицированное связующее; *в* – стеклопластик на основе наномодифицированного связующего и стеклоткани Т-10(ВМП)-4с

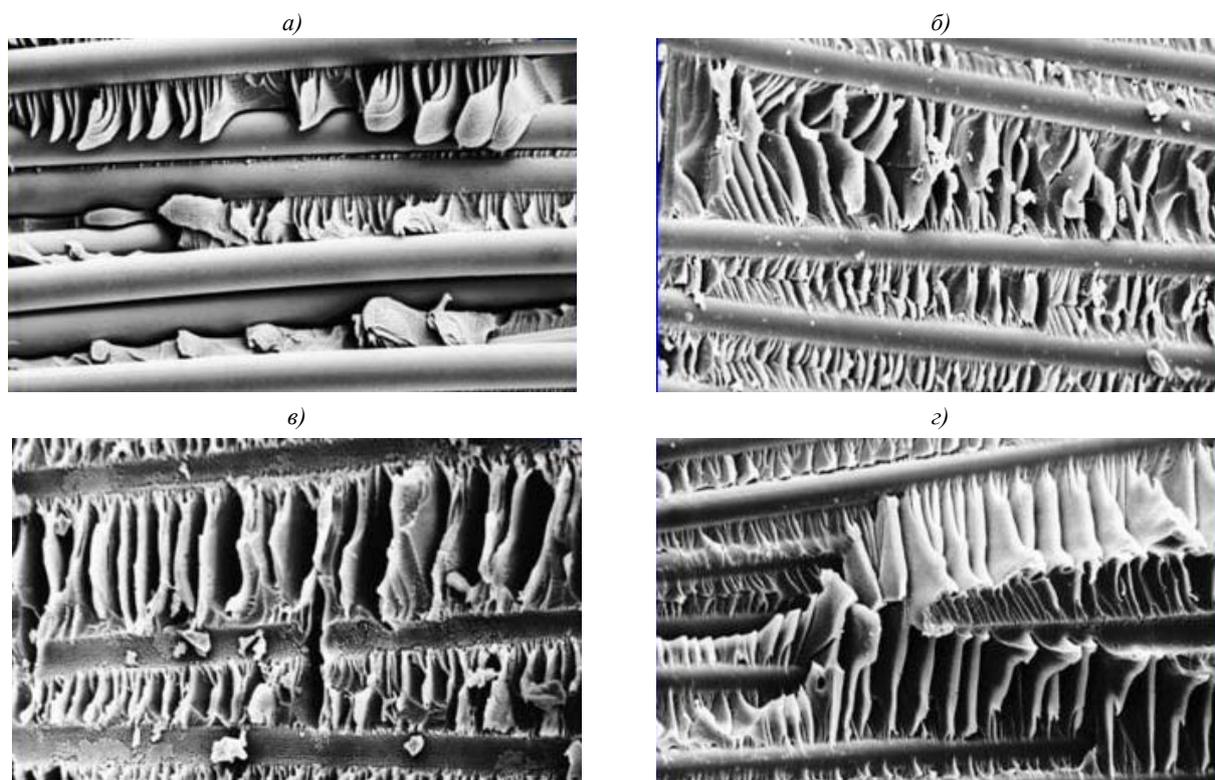


Рис. 7. Микроструктура ( $\times 1000$ ) поверхности расслоения при испытаниях стеклопластика на основе разработанного связующего и стеклоткани Т-10(ВМП)-4с: *а* – на статический изгиб; *б* – на растяжение; *в* – на сжатие; *г* – на межслойный сдвиг

Микроструктура поверхности расслоения стеклопластика (см. рис. 7, *а-г*) при испытаниях на статический изгиб, растяжение, сжатие и межслойный сдвиг показали, что процесс микромеханического разрушения материала характеризуется образованием фрактографической торсионной структуры [11]. На поверхностях разрушения стеклопластика хорошо видна фрагментация структуры матрицы между волокном с образованием многочисленных торсионов, размеры и форма которых зависят от равномерности укладки волокон, от величины адгезии на границе «волокно–матрица». Угол наклона торсионов зависит от места приложения нагрузки [12].

Полученные микроструктурные исследования демонстрируют, что независимо от вида нагружения на ПКМ торсионный характер разрушения универсален (см. рис. 7, *а-г*).

При хорошей адгезии матрицы к волокну происходит дробление торсионов на более мелкие фрагменты, что видно на рисунках. Установленный характер разрушения ПКМ свидетельствует о хорошем сцеплении наполнителя и связующего на границе раздела фаз, что обеспечивает совместную работу волокнистого наполнителя с матрицей при нагрузках и позволяет максимально реализовать прочность армирующих волокон.

Разработанное наномодифицированное связующее и ПКМ на его основе характеризуются достаточно высокими прочностными характеристиками и необходимым комплексом эксплуатационных свойств, обусловленными высокой технологичностью разработанного связующего, использованием нанодисперсных модификаторов, повышенными физико-механическими свойствами отвержденной полимерной матрицы и используемой современной технологией переработки.

Проведенные исследования по созданию наномодифицированного полимерного связующего и технологии его переработки для производства крупногабаритных и нагруженных изделий показали их перспективность для использования в несущих строительных конструкциях.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ресурсы Интернета <http://www.vozrogdienie-group.ru>.
2. Чурсова Л.В., Раскутин А.Е., Гуревич Я.М., Панина Н.Н. Связующее холодного отверждения для строительной индустрии //Клеи. Герметики. Технологии. 2012. №5. С. 40–44.
3. Мухаметов Р.Р., Ахмадиева К.Р., Чурсова Л.В., Коган Д.И. Новые полимерные связующие для перспективных методов изготовления конструкционных волокнистых ПКМ //Авиационные материалы и технологии. 2011. №2. С. 38–42.
4. Лесовик В.С., Строкова В.В. О развитии научного направления «Наносистемы в строительном материаловедении» //Строительные материалы. 2006. №9. С. 18–20.
5. Акатенков Р.В., Кондрашов С.В., Фокин А.С., Мараховский П.С. Особенности формирования полимерных сеток при отверждении эпоксидных олигомеров с функционализированными нанотрубками //Авиационные материалы и технологии. 2011. №2. С. 31–37.
6. Полубояров В.А., Коротаева З.А., Белкова Т.Б., Гончаров А.И., Трофимов А.С., Селютин Г.Е. Влияние модифицирования полимеров нанодисперсными керамическими частицами на свойства нанокомпозитов //Материаловедение. 2011. №10. С. 42–47.
7. Котов Ю.А. Электрический взрыв проволоки – метод получения слабоагрегированных нанопорошков //Российские нанотехнологии. 2009. Т. 4. №1–2. С. 40–49.
8. Стороженко П.А., Гусейнов Ш.Л., Малашин С.И. Нанодисперсные порошки: методы получения и способы практического применения //Российские нанотехнологии. 2009. Т. 4. №1–2. С. 27–39.
9. Иванов В.В. Нанопорошки нужны и востребованы современным рынком //Российские нанотехнологии. 2009. Т. 4. №1–2. С. 22–26.
10. Литвинов В.Б., Токсанбаев М.С., Кобец Л.П., Деев И.С., Рябовол Д.Ю., Нелюб В.А. Кинетика отверждения эпоксидных связующих и микроструктура полимерных матриц в углепластиках на их основе //Материаловедение. 2011. №7. С. 49–56.
11. Деев И.С., Кобец Л.П. Исследование микроструктуры и особенностей разрушения эпоксидных полимеров и композиционных материалов на их основе //Материаловедение. 2010. №5. С. 8–16. №6. С. 13–18.
12. Деев И.С., Кобец Л.П. Торсионное разрушение эпоксидных полимеров и матриц в полимерных композиционных материалах /В сб. материалов Международной конф. «Деформация и разрушение материалов и наноматериалов». 2011. С. 25–28.

#### REFERENS LIST

1. Internet resources <http://www.vozrogdienie-group.ru>.
2. Chursova L.V., Raskutin A.E., Gurevich Ja.M., Panina N.N. Svjazujushhee holodnogo otverzhdenija dlja stroitel'noj industrii [Binder of a cold cure for the construction industry] //Klei. Germetiki. Tehnologii. 2012. №5. S. 40–44.

3. Muhametov R.R., Ahmadijeva K.R., Chursova L.V., Kogan D.I. Novye polimernye svjazujushhie dlja perspektivnyh metodov izgotovlenija konstrukcionnyh voloknistyh PKM [New polymeric binding for perspective methods of production of constructional fibrous PCM] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2011. №2. S. 38–42.
4. Lesovik V.S., Strokova V.V. O razvitii nauchnogo napravlenija «Nanosistemy v stroitel'nom materialovedenii» [Development of the scientific direction «Nanosystems in Construction Materials Science»] //Stroitel'nye materialy. 2006. №9. S. 18–20.
5. Akatenkov R.V., Kondrashov S.V., Fokin A.S., Marahovskij P.S. Osobennosti formirovanija polimernyh setok pri otverzhenii jepoksidnyh oligomerov s funkcionalizovannymi nanotrubkami [Features of formation of polymer network upon curing of epoxy oligomers with functionalized nanotubes] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2011. №2. S. 31–37.
6. Polubojarov V.A., Korotaeva Z.A., Belkova T.B., Goncharov A.I., Trofimov A.S., Seljutin G.E. Vlijanie modifizirovanija polimerov nanodispersnymi keramicheskimi chasticami na svojstva nanokompozitov [Influence of modifying of polymers by nanodisperse ceramic particles on properties of nanocomposites] //Materialovedenie. 2011. №10. S. 42–47.
7. Kotov Ju.A. Jelektricheskij vzryv provoloki – metod poluchenija slaboagregirovannyh nanoporoshkov [Electrical explosion of wire – a receiving method the weak aggregate nanopowders] //Rossijskie nanotehnologii. 2009. T. 4. №1–2. S. 40–49.
8. Storozhenko P.A., Gusejnov Sh.L., Malashin S.I. Nanodispersnye poroshki: metody poluchenija i sposoby prakticheskogo primenenija [Nanodisperse powders: methods of receiving and ways of practical application] //Rossijskie nanotehnologii. 2009. T. 4. №1–2. S. 27–39.
9. Ivanov V.V. Nanoporoshki nuzhny i vostrebovany sovremennym rynkom [Nanopowders are necessary and demanded by the modern market] //Rossijskie nanotehnologii. 2009. T. 4. №1–2. S. 22–26.
10. Litvinov V.B., Toksanbaev M.S., Kobec L.P., Deev I.S., Rjabovol D.Ju., Neljub V.A. Kinetika otverzhenija jepoksidnyh svjazujushhij i mikrostruktura polimernyh matric v ugleplastikah na ih osnove [Kinetics of an cure epoxy binding and a microstructure of polymeric matrixes in coal plastics on their basis] //Materialovedenie. 2011. №7. S. 49–56.
11. Deev I.S., Kobec L.P. Issledovanie mikrostruktury i osobennostej razrushenija jepoksidnyh polimerov i kompozicionnyh materialov na ih osnove [Research of a microstructure and features of destruction of epoxy polymers and composite materials on their basis] //Materialovedenie. 2010. №5. S. 8–16. №6. S. 13–18.
12. Deev I.S., Kobec L.P. Torsionnoe razrushenie jepoksidnyh polimerov i matric v polimernyh kompozicionnyh materialah [The torsion destruction of epoxy polymers and matrixes in polymeric composite materials] /V sb. materialov Mezhdunarodnoj konf. «Deformacija i razrushenie materialov i nanomaterialov». 2011. S. 25–28.