

УДК 678.067.5

А.О. Курносов¹, М.И. Вавилова¹, Д.А. Мельников¹

ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА СТЕКЛЯННЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ И ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АППРЕТИРУЮЩЕГО ВЕЩЕСТВА НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТЕКЛОПЛАСТИКОВ

DOI: 10.18577/2071-9140-2018-0-1-64-70

Рассмотрены основные виды стеклянных наполнителей, применяемых при изготовлении стеклопластиков. Приведены данные по типам и свойствам стекол, широко используемым при производстве наполнителей, с описанием технологии производства стекловолокна, а также нанесения смазочных и аппретирующих веществ. Описаны основные принципы повышения стабильности свойств стеклопластиков за счет улучшения взаимодействия наполнителя и полимерного связующего. Изучены физико-механические характеристики стеклопластиков на основе связующего с добавлением активной добавки (продукт АГМ-9), а также наполнителей с различными типами аппретирующих веществ.

Ключевые слова: полимерные композиционные материалы, стеклопластики, стеклянные наполнители, стекловолокно, ткани, стекло, аппрет.

A.O. Kurnosov¹, M.I. Vavilova¹, D.A. Melnikov¹

MANUFACTURING TECHNOLOGIES OF GLASS FILLERS AND STUDY OF EFFECTS OF FINISHING MATERIAL ON PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF FIBERGLASS PLASTICS

The main types of glass fillers used in the manufacture of fiberglass plastics are considered in the article. Data on types and properties of glasses are most widely used in the production of fillers with a description of production technology of glass fiber, as well as the application of lubricating agents and finishing materials are given. The main principles of improving the stability of the properties of GRP due to improvement of interaction of filler and a polymer binder are described. The physico-mechanical characteristics of glass-fiber reinforced plastics based on the binder with the addition of an active additive (product AGM-9), as well as fillers with different types of finishing materials were studied.

Keywords: polymer composite materials, glass-fiber reinforced plastics, glass fillers, fiberglass, fabrics, glass, finishing agent.

¹Федеральное 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

Введение

В настоящее время одним из основных показателей промышленного прогресса является происходящая во всем мире замена традиционных изделий из металла на полимерные композиционные материалы (ПКМ). Развитие современных технологий требует создания принципиально новых изделий из полимерных материалов, обладающих, кроме высоких технологических и эксплуатационных характеристик, способностью сохранять свои свойства при воздействии различных деструктивных факторов [1].

Наиболее широкое распространение получили стеклопластики на основе стеклянных волокон. Высокая механическая прочность, хорошие электро- и теплоизоляционные свойства, стойкость к воздействию агрессивных сред в различных климатических условиях, возможность конструирования изделий с учетом действующих нагрузок путем выбора рациональной структуры

армирования, доступность и относительно низкая стоимость стеклянных наполнителей – все это позволило широко применять стеклопластики для изготовления различных деталей и агрегатов авиационной техники с целью создания изделий с необходимыми летно-техническими характеристиками [2–5].

Механические свойства композиционных стеклопластиков определяются уровнем упруго-прочностных свойств стеклянных волокон и матриц, их соотношением и прочностью связи по границе раздела, а также рядом факторов, влияющих на реализацию в композитах упруго-прочностных свойств компонентов – в первую очередь армирующих волокон. Основными факторами являются дефектность армирующих волокон и их геометрические размеры, взаимное влияние волокна и матрицы, напряженность компонентов, макроструктурные несовершенства композита и нарушения его монолитности [6].

Промышленность производит стеклянные наполнители разнообразного состава в виде: волокна различного диаметра – непрерывного или штапельного, стеклонитей и стекложгутов различной толщины, тканей разнообразного плетения, стекломатов, стеклохолстов и др. Разнообразие стеклонаполнителей дает возможность изготавливать детали и узлы конструкций из стеклопластиков с оптимальными эксплуатационными и технологическими свойствами.

Свойства стеклопластиков зависят от большого числа факторов:

- состава, формы, длины, диаметра элементарных стеклянных волокон, способа подготовки их поверхности;
- объемного содержания волокон и связующего, текстуры наполнителя, качества его пропитки;
- свойств связующего и прочности его связи с волокном;
- технологии (метода и режимов) изготовления композиции и изделия;
- взаимного расположения (ориентации) волокон и равномерности их распределения в композиции.

Свойства стеклянных волокон во многом определяются их составом. В зависимости от основного назначения выделяют несколько типов стеклянных волокон [7]:

- E (electrical) – низкой электрической проводимости;
- S (strength) – высокой прочности;
- AR (alkali resistant) – высокой щелочестойкости;

- D (dielectric) – низкой диэлектрической проницаемости;
- C (chemical) – высокой химической стойкости;
- M (modulus) – высокой упругости;
- кварцевые – высокой термостойкости и радиопрозрачности.

Свойства основных типов волокон представлены в табл. 1.

Прочностные свойства стекловолокон зависят от химического состава стекла, технологии их получения, наличия механических повреждений на поверхности волокон, их диаметра и длины. С увеличением диаметра волокон их прочность падает [8].

Работа выполнена в рамках реализации комплексного начного направления 13.2. «Конструкционные ПКМ» («Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года») [9].

Технологии производства стекловолокна

На территории России используются два типа технологий производства стекловолокна – одностадийный и двухстадийный.

Двухстадийный способ получения волокна включает стадию подготовки шихты, варки стекла, выработки эрклеза (кусочков оплавленного стекла), стеклошариков или штабиков и стадию плавления эрклеза и стеклошариков в плавильном сосуде и вытягивания волокна.

При более прогрессивном одностадийном способе (рис. 1), волокна вытягивают из стекломассы,

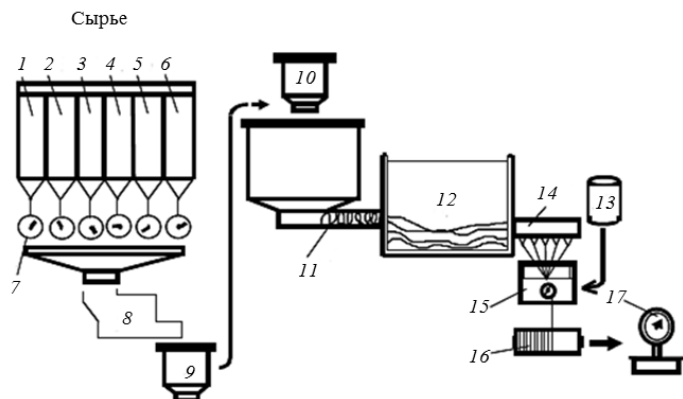
Таблица 1

Свойства стеклянных волокон [7]

Свойства	Значения свойств для волокон типа					
	E	S (ВМП)	AR	C	D	кварц
Температура размягчения, °C	830–860	1056	–	880	770	–
Температура плавления, °C	1066–1077	1500	1180–1200	1159–1166	–	1670
Плотность, г/см ³	2,54–2,55	2,48–2,49	2,6–2,7	2,66–2,68	2,16	2,15
Температурный коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^6, K^{-1}$	4,9–6,0	2,9	7,5	5,9	3,1	0,54
Предел прочности при растяжении, МПа	3100–3500	4380–4590	3100–3500	2800–3000	2410	3400
Модуль упругости при растяжении, ГПа	76–78	88–91	72–74	80–83	52	69
Удлинение до разрыва, %	4,5–4,9	4,5–4,9	2,0–2,4	4,5–4,9	–	5

Рис. 1. Схема одностадийного получения стекловолокна [8]:

1 – глина; 2 – известняк; 3 – уголь; 4 – кварцевый песок; 5 – флюорит; 6 – борная кислота; 7 – автоматические дозаторы; 8 – смеситель; 9, 10 – бункеры; 11 – шнековый питатель; 12 – ванна; 13 – секция приготовления замасливателя (шлихты); 14 – платиновые фильеры (бушинги) с электронагревом и автоматическим управлением; 15 – замасливатель; 16 – высокоскоростное намоточное устройство; 17 – пост контроля и взвешивания



поступающей на переработку сразу из стекловаренной печи, питаемой шихтой, т. е. исключается промежуточная стадия выработки эрклеза и стеклянных шариков, при этом расход энергии сокращается практически в 2 раза. Вместо нее осуществляется операция распределения потока стекла в распределителе стеклоплавильной печи по отдельным фильерным питателям.

Наиболее современной технологией производства стекловолокна владеют США, где используется так называемый *C*-процесс. При этом способе вытягивание волокон производится из питателей с 2000 и 4000 отверстий. Волокна вытягиваются со скоростью 750 м/с. Суточная производительность установок составляет 1080–1440 кг при 2000 отверстий и 2160–2460 кг – при 4000 отверстий. Данное производство включено в перечень высоких технологий, на экспорт которых наложены серьезные ограничения. При обращении к США по вопросу закупки указанной технологии Россия получила отказ. Для сравнения – на оборудовании, установленном на российских предприятиях, максимальное число отверстий в фильерных пластинах составляет 800 шт., скорость вытягивания 10–100 м/с.

В результате процесса вытяжки получают непрерывные волокна, которые в дальнейшем собирают в комплексную нить и наносят замасливателю. Несколько соединенных комплексных нитей в одну некрученую прядь называют ровингом.

Для получения стеклянной нити необходимой толщины и для улучшения ее технологических свойств, нить подвергают кручению. Под кручением любого волокнистого материала понимают сообщение ему деформации, в результате которой каждое поперечное сечение волокнистого материала поворачивается относительно соседних сечений на некоторый угол, причем направление поворота одинаково по всей длине. За единицу крутки в метрической системе принимают число кручений на метр длины волокнистого материала.

Стеклянная нить, как правило, подвергается двойному кручению (в два перехода). Жесткость стеклянного волокна обуславливает неустойчивость стеклянной нити. Нить стремится раскрутиться после первого кручения, в результате чего на ней образуются петли. Для получения компенсированной (равновесной) нити применяется второе кручение в направлении, обратном первому, с одновременным сложением нитей.

При первом кручении стеклянной нити, состоящей из параллельно ориентированных волокон, крутку воспринимает не только скручиваемая нить, но и каждое волокно в отдельности. После первого кручения стеклянные волокна располагаются по винтовым линиям переменного радиуса с постоянным шагом, т. е. волокна в нити переходят из наружных слоев нити во внутренние и наоборот.

В результате второго кручения стеклянной нити (одновременно со сложением нитей) в обрат-

ном направлении по отношению к первому, нить в целом приобретает крутку, а нити первого кручения и волокна, составляющие их, соответственно теряют такое число кручений, какое получает нить. При расположении волокон и нитей по винтовой линии они скрепляются и уплотняются, причем с увеличением степени крутки и диаметра волокна плотность стеклянной нити возрастает. Это объясняется увеличением радиальных усилий между волокнами нити при крутке, а также повышенной жесткостью волокна большого диаметра.

Различают крутку правого и левого направления. При правой крутке стеклянной нити витки идут снизу вверх слева направо; она условно обозначается буквой *Z*. При левой крутке витки идут снизу вверх справа налево; такая крутка условно обозначается буквой *S*. При промышленном производстве стеклянного волокна первая крутка принята левого направления, вторая – правого [7].

Структура переплетений тканых наполнителей

Для изготовления стеклопластиков используются различные типы стеклянных тканей. Формирование стеклянной ткани, как и всякой другой ткани, происходит в результате взаимного переплетения двух систем нитей (основы и утка). Основные нити располагаются вдоль ткани, уточные нити – в поперечном направлении. Переплетением называется определенный порядок чередования перекрытий нитей одной системы с нитями другой. Переплетение нитей в ткани определяет ее строение и, следовательно, свойства.

Существуют различные виды переплетений основы и утка для создания прочных тканей. Варьируя виды ткани, можно создать разнообразные армирующие структуры, влияющие в определенной степени на свойства композитов из них. Для производства стеклопластиков наиболее широко применяются ткани следующих типов переплетения: полотняного, саржевого, сатинового и однонаправленного.

Простая ткань с *полотняным* переплетением, в которой уток проходит под каждой нитью основы и над ней, обладает самой высокой степенью устойчивости относительно проскальзывания пряжи и менее всего повреждается. Такая ткань стабильна как по плотности утка и основы, так и по расходу пряжи. *Саржевое (диагональное)* переплетение создается переплетением одного или более элементов основы двумя или более элементами утка с правильным чередованием. Особенностью такой ткани является большая гибкость и лучшая драпирующая способность, нежели у тканей с полотняным или сеточным переплетениями. *Восьмиремизное сатиновое* переплетение осуществляется по следующей схеме: одна нить основы перекрыта семью нитями утка сверху и одной нитью снизу с образованием нерегулярного рисунка. В результате получают очень гибкую и

удобную для различных выкладок ткань. Эта ткань, имеющая высокую плотность по утку и основе, обладает максимальной изотропной прочностью в композите. Другие переплетения, в которых использованы прочные нити основы и тонкие нити утка, носят название *однонаправленных*. Такие ткани используются при создании композитов с высокой прочностью в направлении армирования [10].

Нанесение замасливателей и аппретов

В процессе текстильной переработки стеклянные волокна необходимо обрабатывать специальными защитными веществами – замасливателями. Замасливатели защищают волокна от разрушения при трении друг о друга при текстильной переработке (текстильные замасливатели) и о поверхность оборудования, от склеивания их в нить, от воздействия влаги, облегчают размотку и кручение нитей, препятствуют накоплению заряда статического электричества при трении и т. д. [11–13]. Наиболее распространенным текстильным замасливателем является парафиновая эмульсия, представляющая собой многокомпонентную водоэмульсионную дисперсию, содержащую парафин, стеарин, вазелин, трансформаторное масло, препарат ОС-20, закрепитель ДЦУ и воду [7].

Однако при создании композиционных материалов текстильные замасливатели препятствуют адгезионному взаимодействию между волокном и связующим, в результате чего в условиях повышенной влажности прочность стеклопластиков при изгибе и сжатии снижается до 50–60% с одновременным ухудшением диэлектрических свойств. Для устранения этого недостатка перед стадией нанесения связующего проводят термическую обработку стеклянного наполнителя (при 300–320°C) с целью удаления замасливателя.

Для целенаправленного регулирования зоны контакта стеклянного наполнителя с полимерным связующим на поверхность наполнителя наносят

низкомолекулярные вещества различного состава с биполярной структурой молекул – аппретов. Более полярная группа в структуре аппрета адсорбируется или химически присоединяется к поверхности стеклянного наполнителя, а менее полярная – совмещается или химически взаимодействует со связующим. Для обеспечения плавного перехода параметров свойств наполнителя к параметрам свойств матрицы, толщина пленки аппрета на наполнителе должна составлять порядка 40–60 нм (привес 2–5%). Если толщина слоя аппрета будет недостаточна или превысит оптимальное значение, то снизится эффект перераспределения напряжений с матрицы на наполнитель и, соответственно, уменьшится прочность материала.

Наиболее широкое распространение в качестве аппретов получили кремнийорганические композиции. Полагают [14], что мономерные кремнийорганические соединения поликонденсируются на волокнах с образованием трехмерной сетки. Они эффективны при создании композиционных материалов с матрицами из эпоксидных, фенолформальдегидных и других смол.

Технологические стадии при текстильной переработке стеклянного волокна приведены на рис. 2.

Удаление текстильного замасливателя и последующее аппретирование усложняют подготовку стеклянных наполнителей, а также способствуют потерям прочности волокон от термообработки при удалении замасливателя, которые могут достигать у стекловолокна до 60% от прочности исходного волокна. В связи с этим очевидна целесообразность объединения 2, 4 и 5-й технологических стадий в одну путем применения модифицирующей композиции, называемой «прямым замасливателем» и удовлетворяющей как требованиям текстильной переработки, так и обеспечивающей эффективное межфазное взаимодействие поверхности волокон с матрицей в композиционном материале [13].

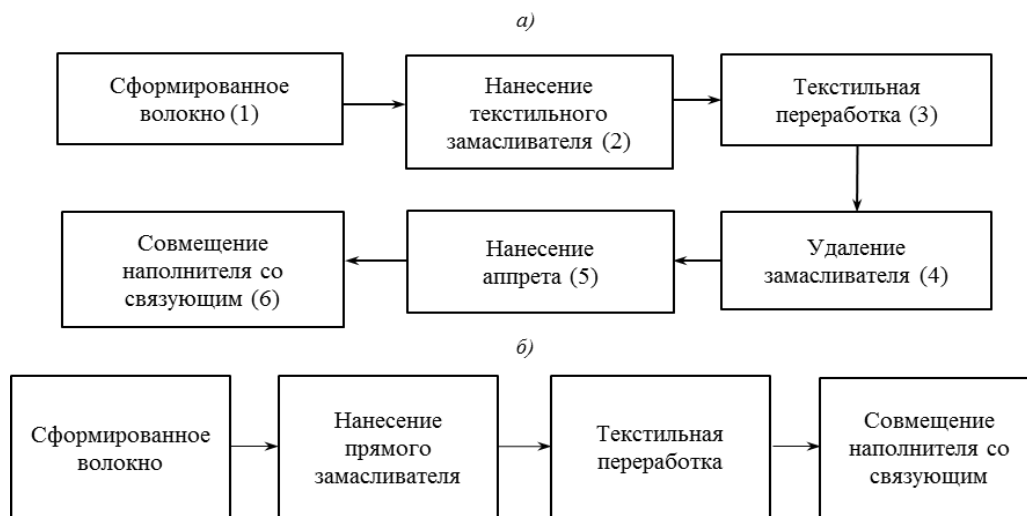


Рис. 2. Технологические стадии при текстильной переработке стеклянного волокна при полном (а) и сокращенном циклах (б)

Необходимо отметить вредоносные факторы при производстве стекловолокна. Работники-операторы технологического процесса подвергаются комплексному воздействию выделяющихся в воздух рабочей зоны канцерогенных химических веществ (в том числе формальдегида, эпихлоргидрина, этановой кислоты, аэрозоля минерального нефтяного масла), а проникающий эффект вредных веществ через кожу усиливает мелкодисперсная пыль стекловолокна, которая оказывает травмирующее и раздражающее действие. Усугубляющими факторами воздействия замасливателей на организм операторов также являются повышенная температура и избыток теплового излучения в помещении. Совокупность приведенных факторов обуславливает риск развития у работников данного производства заболеваний кожи [15].

В качестве прямых замасливателей в зависимости от дальнейшего назначения могут применяться композиции номеров 76, 78, 14, 4с и др., представляющие собой многокомпонентную малоконцентрированную водоземulsionную дисперсию, характеризующуюся содержанием кремнийорганических соединений аппретов (ГВС-9, АГМ-9 и т. п.), и водную дисперсию поверхностно-активных веществ (ПАВ). Такие прямые замасливатели применяются при выработке комплексных нитей из стекол различных составов [16]. В работе [14] указано, что аппретирование, как правило, незначительно улучшает прочностные свойства стеклопластиков, однако существенно повышает их водо- и атмосферостойкость.

Основные марки стеклянных тканей, их строение, виды замасливателей и аппретирующих составов, применяемые при изготовлении стеклопластиков конструкционного назначения, приведены в табл. 2 [17], в которой представлены: стеклоткани Т-10 и Т-10(ВМП), кордная стеклоткань Т-25(ВМП), однонаправленная стеклоткань Т-60(ВМП) и стеклоткани на основе полых волокон Т-15(П) и Т-45(П) из стекла типа Е, а также стеклоткани арт. 7781 и арт. 120 производства фирмы Porcher Ind.

Материалы и методы

Увеличение механических свойств стеклопластиков, особенно в условиях повышенной влаж-

ности и присутствия воды, за счет улучшения взаимодействия наполнителя и полимерного связующего может быть достигнуто путем оптимального подбора аппретирующего вещества для армирующего наполнителя, а также введением активных добавок в состав связующего [18].

Для получения стеклопластика с повышенной водостойкостью применяли активный замасливатель №4с, который представляет собой водную дисперсию смолы ЭД-20 с большим количеством эмульгатора, в отличие от замасливателя №14 на основе триэтаноламинолената.

Для исследований выбрали стеклопластики на основе растворных эпоксидных связующих ЭДТ-69Н(М), УП-2227 и армирующих наполнителей марок Т-10-14, Т-10(ВМП)-14 и Т-10(ВМП)-4с с разными прямыми замасливателями номеров 14 и 4с.

При выборе химически активного соединения, пригодного для введения в состав связующего, необходимо руководствоваться его способностью совмещаться со связующим и наличием в нем функциональных групп, которые предположительно реагируют с функциональными группами связующего и поверхностью стеклянного волокна в условиях технологического процесса изготовления стеклопластика. В качестве активного соединения использовали продукт АГМ-9, который в США известен под маркой А-1100 (аминопропилтриэтоксисилан). Изготовлены три варианта связующего ЭДТ-69Н(М) с различным содержанием АГМ-9 и определено время гелеобразования при температуре 120°С:

Состав связующего	Время гелеобразования, мин
ЭДТ-69Н(М) в исходном состоянии	24
То же + АГМ-9:	
1%	21
3%	18,5

Оценку изменения свойств стеклопластиков в условиях повышенной влажности проводили по методике, широко используемой в различных странах и заключающейся в двухчасовом кипячении в воде. Такое испытание эквивалентно длительному пребыванию пластика в условиях высокой влажности или в воде [18].

Таблица 2

Марки стеклянных тканей

Ткань	Номинальная масса единицы площади, г/м ²	Количество нитей на 1 см		Вид переплетения ткани	Вид замасливателя и аппретирующего вещества
		по основе	по утку		
Т-10	290	36±1	20±1	Сатин 8/3	№14, парафиновая эмульсия
Т-10(ВМП)	310	36±1	20±1	Сатин 8/3	№14, №4с
Т-25(ВМП)	365	10±1	6±1	Плотняное	№78, №14, парафиновая эмульсия
Т-60(ВМП)	235	28±1	6±1	Плотняное	№14
Т-15(П)	160	24±1	18±1	Сатин 5/3	№76
Т-45(П)	216	22±1	16±1	Сатин 5/3	№76
Арт. 7781	296	22,9	21,1	Сатин 8	К 506
Арт. 120	105	23,6	22,9	Сатин 4	К 506

Результаты и обсуждение

Для оценки влияния различных аппретирующих веществ на свойства стеклопластиков изготовлены препреги и исследованы физико-механические свойства образцов стеклопластиков с повышенными прочностными свойствами на основе связующего УП-2227 и стеклотканей сатинового переплетения типа Т-10(ВМП) на активных замасливателях номеров 14 и 4с. Основные физико-механические свойства стеклопластиков на основе связующего УП-2227 и стеклотканей Т-10(ВМП)-14 и Т-10(ВМП)-4с представлены в табл. 3.

Как видно из приведенных данных применение стеклоткани Т-10(ВМП)-4с на активном замасливателе №4с позволяет добиться более высокого уровня механических характеристик, что особенно заметно при испытаниях образцов стек-

лопластиков на статический изгиб, – повышение свойств составляет до 17%.

На основе связующего ЭДТ-69Н(М) с различной концентрацией продукта АГМ-9 и стеклоткани Т-10-14 отработан технологический процесс получения препрега, выбран режим отверждения стеклопластика и автоклавным методом изготовлены образцы для проведения исследований.

Проведены механические испытания образцов полученных стеклопластиков при температуре 20 и 80°C в исходном состоянии, после кипячения и выдержки в воде, которые представлены в табл. 4.

Результаты исследований механических свойств образцов из стеклопластиков, таких как пределы прочности при статическом изгибе и межслойном сдвиге, показали, что введение в состав связующего активной добавки АГМ-9 в количестве от 1 до 3% не вносит значимых

Таблица 3

Физико-механические свойства стеклопластиков на основе связующего УП-2227 и различных стеклотканей

Свойства	Условия испытания	Температура испытания, °С	Значения свойств стеклопластика на основе связующего УП-2227 и стеклоткани	
			Т-10(ВМП)-14	Т-10(ВМП)-4с
Предел прочности, МПа: при статическом изгибе при сжатии при растяжении	В исходном состоянии	20	940	1100
		80	815	825
	После 2 ч кипячения	20	950	1010
		80	755	810
	В исходном состоянии	20	655	655
		80	600	605
То же	20	745	825	
Модуль упругости при растяжении, ГПа	В исходном состоянии	20	37,1	40,8
Водопоглощение, %	После выдержки в воде в течение, сут: 1 30	20	0,06	0,05
		20	0,29	0,27
		20	0,29	0,27

Таблица 4

Физико-механические свойства стеклопластиков на основе стеклоткани Т-10-14 и связующего ЭДТ-69Н(М) с активной добавкой АГМ-9

Свойства	Условия испытания	Температура испытания, °С	Значения свойств стеклопластиков на основе связующего ЭДТ-69Н(М) с добавкой АГМ-9 в количестве, %		
			0	1	3
Предел прочности, МПа: при статическом изгибе при межслойном сдвиге	В исходном состоянии	20	895	800	830
		80	780	635	655
	После 2 ч кипячения	20	790	720	730
		80	615	530	535
	В исходном состоянии	20	63	55	59
		80	50	42	42
После 2 ч кипячения	20	58	50	54	
	80	45	36	37	
Водопоглощение, %	После 2 ч кипячения После выдержки в воде в течение, сут: 1 30	20	0,20	0,19	0,22
		20	0,03	0,04	0,03
		20	0,26	0,27	0,27

изменений в показатели свойств вне зависимости от увеличения количества активной добавки в составе связующего ЭДТ-69Н(М). Водопоглощение образцов стеклопластиков также практически не изменяется.

Таким образом, установлено, что введение дополнительного количества добавки АГМ-9 в состав связующего ЭДТ-69Н(М) при использовании стеклоткани с активным замасливателем №14 не повышает уровень механических свойств как в исходном состоянии, так и после кипячения в воде.

Заключения

Изготовлены образцы стеклопластиков на основе растворных эпоксидных связующих ЭДТ-69Н(М), УП-2227 и стеклоткани сатинового переплетения типа Т-10 на различных активных замасливателях и проведен комплекс исследований их свойств.

Исследование свойств проводили при температурах 20 и 80°C в исходном состоянии и после двухчасового кипячения в воде, имитирующего

длительное пребывание стеклопластиков в условиях высокой влажности или в присутствии воды.

Исследованы свойства стеклотекстолитов на стеклянных тканях с активными замасливателями номеров 14 и 4с. Применение стеклоткани Т-10(ВМП) с активным замасливателем №4с (по сравнению с замасливателем №14) позволило добиться более высокого уровня механических характеристик.

С целью повышения стабильности свойств стеклопластиков, особенно в условиях повышенной влажности и присутствия воды, исследовали введение в состав связующего ЭДТ-69Н(М) активной добавки АГМ-9. В результате показано, что одновременное использование стеклотканей с активным замасливателем №14 и введение в связующее активных добавок не улучшает свойства материала.

В дальнейшем работу целесообразно продолжить в направлении исследования влияния активных добавок на взаимодействие полимерного связующего и стеклянного наполнителя без активного замасливателя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каблов Е.Н., Щетанов Б.В., Ивахненко Ю.А., Балинова Ю.А. Перспективные армирующие высокотемпературные волокна для металлических и керамических композиционных материалов // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. 2013. №2. Ст. 05. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 20.04.2017). DOI: 10.18577/2307-6046-2013-0-2-5-5.
2. Каблов Е.Н. Конструкционные и функциональные материалы – основа экономического и научно-технического развития России // Вопросы материаловедения. 2006. №1. С. 64–67.
3. Каблов Е.Н. Композиты: сегодня и завтра // Металлы Евразии. 2015. №1. С. 36–39.
4. Курносов А.О., Мельников Д.А., Соколов И.И. Стеклопластики конструкционного назначения для авиастроения // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. 2015. №8. Ст. 08. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 15.04.2017). DOI: 10.18577/2307-6046-2015-0-8-8-8.
5. Курносов А.О., Соколов И.И., Мельников Д.А., Топунова Т.Э. Пожаробезопасные стеклопластики для интерьера пассажирских самолетов (обзор) // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. 2015. №11. Ст. 07. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 01.05.2017.). DOI: 10.18577/2307-6046-2015-0-11-7-7.
6. Мельников Д.А., Громова А.А., Раскутин А.Е., Курносов А.О. Теоретический расчет и экспериментальное определение модуля упругости и прочности стеклопластика ВПС-53/120 // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. 2017. №1. Ст. 08. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 17.04.2017). DOI: 10.18577/2307-6046-2017-0-1-8-8.
7. Гутников С.И., Лазорьяк Б.И., Селезнев А.Н. Стеклянные волокна: учеб. пособие. М.: МГУ, 2010. С. 27–39.
8. Первушин Ю.С., Жернаков В.С. Проектирование и прогнозирование механических свойств однонаправленного слоя из композиционного материала: учеб. пособие. Уфа: Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т, 2002. 127 с.
9. Каблов Е.Н. Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» // Авиационные материалы и технологии. 2015. №1 (34). С. 3–33. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33.
10. Сидорина А.И., Гуняева А.Г. Тканые армирующие наполнители для полимерных композиционных материалов. Обзор // Химические волокна. 2017. №2. С. 20–23.
11. Михайлин Ю.А. Волокнистые полимерные композиционные материалы в технике. СПб.: Научные основы и технологии, 2015. 102 с.
12. Пластики конструкционного назначения (реактопласты) / под ред. Е.Б. Тростянской. М.: Химия, 1974. 120 с.
13. Иващенко Е.А. Замасливатели и аппреты для базальтовых и стеклянных волокон // Химическая технология. 2008. Т. 9. №1. С. 16–20.
14. Гуняев Г.М. Структура и свойства полимерных волокнистых композитов. М.: Химия, 1981. 232 с.
15. Мухаммадиева Г.Ф., Каримова Л.К., Бакиров А.Б. и др. Профилактика онкологического риска у работников производства стекловолокна // Анализ риска здоровью. 2016. №3. Ст. 09. URL: <http://www.journal.fcrrisk.ru> (дата обращения: 25.05.2017). DOI: 10.21668/health.risk/2016.3.09.
16. Вавилова М.И., Кавун Н.С. Свойства и особенности армирующих стеклянных наполнителей, используемых для изготовления конструкционных стеклопластиков // Авиационные материалы и технологии. 2014. №3 (32). С. 33–37. DOI: 10.18577/2071-9140-2014-0-3-33-37.
17. ГОСТ 19170–2001. Стекловолокно. Ткань конструкционного назначения. Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2001. 11 с.
18. Голубенкова Л.И. Армированные полимерные материалы / под ред. З.А. Роговина, П.М. Валецкого, М.Л. Карбера. М.: Мир, 1968. 244 с.