

DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-3-543-553

A STUDY OF SHIPBUILDING POLYMER COMPOSITE MATERIAL FOR STRENGTH

M. Alsaid, A. Salamekh, V.A. Mamontov

Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russian Federation

The results of study of the mechanical properties of multilayer polymer composite materials made of glass reinforcing fillers under tension are presented in the paper. The aim of the study is to determine the influence of the reinforcing fillers number and the layers order on the tensile strength of the studied material. The analysis of the previous similar researches is carried out. The results of the study of the influence of various factors on the mechanical properties of composite materials at their manufacture, such as the manufacture method, the reinforcing fillers nature, the fibers of the reinforcing fillers orientation relative to the direction of the acting load and the influence of atmospheric factors are presented. The technology of manufacturing samples from polymer composite materials with two differently structured fillers based on the requirements of the governing standards is presented in the paper, as well as the physical and mechanical properties of the reinforcing fillers are considered. The consistency of operations at hand forming of the polymer composite material is described. The scheme and layers sequence for reinforcement are selected and justified. Based on the results of the experiment the mathematical dependence of the tension failure load from the layers number, as well as the dependence of the tensile strength from the layers number at a certain Stacking Sequence are established. The results statistical processing is performed using the Minitab 18.1 software package. The study results are presented in tabular and graphical forms. During the discussion it is proposed to apply the work results to solve the problems associated with the use of polymer composite materials in shipbuilding, for example, in the manufacture of superstructures of some dry cargo ships.

Keywords: shipbuilding, polymer composite materials, fiberglass, mechanical properties, tensile test.

For citation:

Alsaid, Mazen, Ali Salamekh, and Viktor A. Mamontov. "A study of shipbuilding polymer composite material for strength." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 11.3 (2019): 543–553. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-3-543-553.

УДК 620.172.242

ИССЛЕДОВАНИЕ СУДОСТРОИТЕЛЬНОГО ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ПРОЧНОСТЬ

М. Алсаид, А. Саламех, В. А. Мамонтов

ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет»,
Астрахань, Российская Федерация

Представлены результаты исследования механических свойств многослойных полимерных композиционных материалов, изготовленных на основе стеклянных армирующих наполнителей, при растяжении. Целью исследования является установление влияния количества слоев армирующих наполнителей и порядка расположения слоев, на предел прочности изучаемого материала при растяжении. Проведен анализ существующих подобных исследований. Показаны результаты проведенных исследований при изучении влияния различных факторов при изготовлении композиционных материалов на их механические свойства, таких как метод изготовления, природа армирующих наполнителей, ориентация волокон армирующих наполнителей относительно направлению действующей нагрузки и влияние атмосферных факторов. В работе представлена технология изготовления образцов из полимерных композиционных материалов с двумя разными по структуре наполнителями, разработанная на основе требований руководящих стандартов, а также рассмотрены физические и механические свойства армирующих наполнителей. Описана последовательность выполнения операций при ручной формовке полимерного композиционного материала. Выбрана и обоснована схема и порядок расположения слоев при армировании. На основании результатов эксперимента установлена математическая зависимость разрушающей нагрузки от количества слоев, а также зависимость предела прочности при растяжении от количества слоев при определенном порядке их расположения. Выполнена статистическая обра-

ботка результатов с использованием пакета статистических программ Minitab 18.1. Полученные результаты исследования представлены в табличной форме и графическом виде. При обсуждении предлагается применить результаты проведенных работ для решения задач, связанных с использованием полимерных композиционных материалов в судостроении, например, при изготовлении надстроек некоторых сухогрузных судов.

Ключевые слова: судостроение, полимерные композиционные материалы, стеклопластики, механические свойства, испытание на растяжение.

Для цитирования:

Алсаид М. Исследование судостроительного полимерного композиционного материала на прочность / М. Алсаид, А. Саламех, В. А. Мамонтов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2019. — Т. 11. — № 3. — С. 543–553. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-3-543-553.

Введение (Introduction)

Важный поворот в отношение классификационных морских обществ к полимерным композитным материалам (ПКМ) произошел в 2002 г., когда в Правилах «Международной конвенции по охране человеческой жизни на море (СОЛАС-74)» приняли новую поправку, известную как Правила 17, которая позволила использовать альтернативные материалы в судовых конструкциях в том случае, если они обеспечивают требуемый уровень пожарной безопасности [1]. С тех пор применение ПКМ быстро расширялось как в надводном, так и в подводном судостроении [2], что позволило увеличить диапазон для изучения не только их механических характеристик, но и поведения под воздействием разных видов нагрузок при различных условиях эксплуатации. Особенностью ПКМ, отличающихся от традиционных судостроительных материалов, является их структура, содержащая два и более компонента (армирующие наполнитель и связующий), взаимодействующих между собой и имеющих свою степень влияния на механические и физические характеристики ПКМ [3]. На эту тему существует большое количество литературы, изучающей влияние множества факторов на механические характеристики ПКМ.

Результаты, полученные в работах [4], [5], показали существенное влияние методов изготовления ПКМ на основе стеклянных волокон (контактное формирование, напыление, вакуумное обжатие и прессование) на растяжение, срез, изгиб, сжатие и ударную вязкость. В таком же направлении исследование [6] подтверждает, что предел прочности при растяжении образцов, изготовленных с применением указанных технологий, в три раза больше, чем предел прочности образцов, изготовленных ручной формовкой.

В работе [7] А. С. Саргсян, показал, что свойства ПКМ зависят от использующих армирующих наполнителей, а природа полимерной матрицы определяет уровень механических свойств ПКМ, температурный диапазон их эксплуатации и характер изменения свойств в условиях температурного, влажностного и атмосферного воздействий. Подробное исследование роли армирующих наполнителей выполнено в работе [8], результаты которой показывают, что предел прочности при растяжении ПКМ на основе углеродных наполнителей выше на 30 % по сравнению с гибридными ПКМ на основе углеродных и стеклянных наполнителей и на 37 % по сравнению с ПКМ, армированными только стеклянными наполнителями.

Полученные в работе [9] результаты подтверждают, что ориентация волокон армирующих наполнителей является одним из факторов, оказывающих влияние на механические свойства ПКМ. В среде ПКМ с разной ориентацией волокон относительно направления действующей нагрузки (0° , 35° , 45° , 90°), установлено, что волокна со значениями угла ориентации 35° дают лучшие механические характеристики при растяжении и изгибе.

Изучение влияния атмосферных факторов на механические свойства ПКМ является основным объектом во многих современных работах. При этом в работе [10] показано, что повышенная температура (150°C) практически не оказывает влияние на модуль упругости углепластика при испытаниях на одноосное растяжение и изгиб. Однако изучение влияния повышенных температур на прочностные свойства углепластиков показало, что при повышенной температуре (150°C) среднее значение предела прочности при растяжении снижается на 15 %, а при изгибе

— на 30 % по сравнению со средними значениями, полученными при нормальной температуре. Для стеклопластика выявлено немонотонное снижение модуля упругости при пониженных и повышенных температурах: 50 °C, 40 °C, 22 °C, 0 °C, –30 °C относительно испытаний при нормальных температурах. Четкого влияния на предел прочности температур не выявлено, а для гибридных ПКМ, армированных волокнами из углерода и кевлара, предел прочности увеличивается при пониженных температурах: –10 °C, –5 °C, 0 °C [11].

Исходя из ранее изложенного, многослойные ПКМ имеют неоднородную структуру и на их прочность в большей степени оказывают влияние следующие факторы:

- количество и порядок укладки слоев армирующего элемента;
- свойства и соотношение количеств использованных армирующего элемента и связующего;
- направление волокна относительно оси воздействия нагрузок;
- атмосферные факторы (температура, давление);
- приемлемый метод изготовления.

На основании ранее изложенного следует заметить, что механические свойства ПКМ мало изучены с учетом количества слоев армирующих наполнителей, что является целью настоящего исследования. Изучение влияния количества слоев, армированных двумя разными по структуре стеклянными наполнителями, на предел прочности при растяжении ПКМ является задачей исследования, а объектом исследования служат образцы, изготовленные с разным количеством слоев.

Следует отметить, что в настоящее время проводится исследование влияния количества слоев ПКМ с одним наполнителем на основе стеклянных тканей.

Методы и материалы (Methods and Materials):

Для изучения влияния количества слоев на прочность ПКМ при растяжении были изготовлены пять партий образцов с разным количеством слоев: $n = 3; 6; 9; 12; 15$, при этом образцы вырезали из пластин, имеющих квадратную форму со стороной квадрата 600 мм согласно ГОСТу 33345–2015¹.

Материал изготовленных пластин — композитные материалы, армированные стеклянными волокнами. В состав данного материала входят следующие компоненты:

1. Стекломат марки EMC-600-1250-E — эмульсионная ткань, изготовленная компанией «Джуши» (Jushi Group).
2. Термореактивная ортофталевая полиэфирная смола «Яркопол-110», выпускаемая заводом «Ярославские полимеры».
3. Ровинговая стеклоткань (Рогожа) марки EWR 560 — двунаправленная ткань, сотканная из переплетенных между собой нитей прямого стеклоровинга. Основные характеристики выбранных компонентов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Физико-механические свойства выбранных компонентов

EMC-600-1250-E ²		Яркопол-110 ³		EWR 560 ⁴	
Характеристика	Значение	Характеристика	Значение	Характеристика	Значение
Поверхностная масса, г/м ²	$600 \pm 7,5$	Плотность, при $t = 23^{\circ}\text{C}$, г/см ³	1,13–1,14	Поверхностная масса, г/м ²	560
Содержание связующего, %	$3,5 \pm 1,1$	Изгибающее напряжение при разрушении, МПа	70–100	Содержание влаги, %	$\leq 0,15$

¹ ГОСТ 33345–2015. Композиты полимерные. Производство пластин для изготовления образцов для испытаний. Общие технические требования. М.: Стандартинформ, 2015. 24 с.

² E-Glass Emulsion Chopped Strand Mat. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://en.jushi.com/uploads/soft/jushiEN%20Products/EGlass%20Emulsion%20Chopped%20Strand%20MatE02.pdf> (дата обращения: 11.02.2019).

³ Характеристики смолы «Яркопол-110». [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://megaplast.org/images/pdf/Yarkopol_110.pdf (дата обращения: 11.02.2019).

⁴ Ровинговая стеклоткань марки EWR 560. ЕЗИМ. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.e-zim.ru/products/roviningovaya-tkan/> (дата обращения: 10.02.2019).

Окончание табл. 1

Прочность на разрыв, Н	≥ 160	Разрушающее напряжение при сжатии, МПа	90–140	Содержание замасливателя, %	$0,6 \pm 0,2$
Удельная разрывная нагрузка по вертикали, Н/мм	60	Относительное удлинение при разрыве, %	3–5	Разрывная нагрузка по вертикали, Н	2800
Удельная разрывная нагрузка по горизонтали, Н/мм	60	Прочность при разрыве, МПа	45–65	Разрывная нагрузка по горизонтали, Н	2800

Методом изготовления пластин является ручная формировка, при которой оформление пластин начинается со смазки матрицы смолой, затем происходит укладка первого слоя ткани, который должен тесно закрепляться с матрицей. Поэтому валик пропитывают смолой с повышенным добавлением отвердителя. Через 20–25 мин происходит нанесение остальных слоев ткани в последовательности (укладка ткани → пропитка смолой → прокатывание металлическим валиком для удаления воздуха). В конце оформления листа его необходимо оставить для высыхания на 48 ч при температуре окружающей среды, затем выполнить процесс кондиционирования не менее 16 ч при температуре 23 ± 2 °С и относительной влажности 50 ± 5 %. Для обеспечения отверждения пластин перемешивают смолы с отвердителем марки «Бутанокс М-50» (Butanox M-50). По окончании процесса кондиционирования пластины извлекаются из матрицы и подвергаются механической обработке, к которой относятся: шлифовка поверхности и обрезка облоя — излишков стеклопластика или отверженной полиэфирной смолы по краям листов (обрезают пластину с каждой стороны не менее чем на 10 мм).

Выбранная схема армирования изготовленных пластин (рис. 1) учитывает симметричность распределения слоев, что исключает возможность возникновения межслойного сдвига в конструкции из ПКМ. Это можно заметить в рекомендуемых типах стеклопластиков для корпусных конструкций судов, рекомендуемой правилами Российского морского регистра судоходства (РМРС)¹. Соотношение количества слоев стекломата к количеству слоев ровинговой стеклоткани для всех пластин равно 1/3. При этом для исключения влияния других факторов процесс изготовления пластин производится с фиксированными значениями долей добавленных смол и отвердителя (по требованию технических нормативов изготовленного материала для каждого слоя ткани добавлено 400 см³ смолы, при этом доза отвердителя составляет 4 см³).

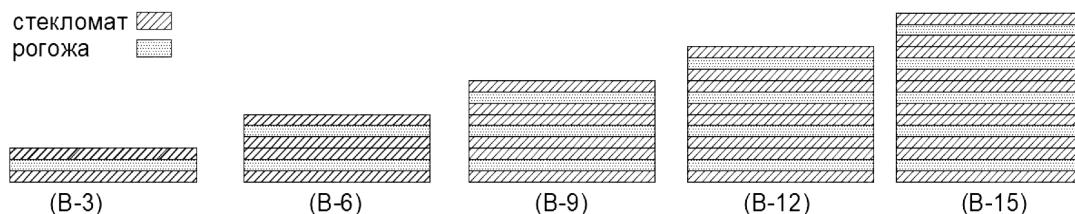


Рис. 1. Схема армирования изготовленных пластин

В качестве объекта исследования выбраны плоские образцы без головок (рис. 2) в соответствии с ГОСТом 11262–2017. Основные размеры образцов приведены в табл. 2.

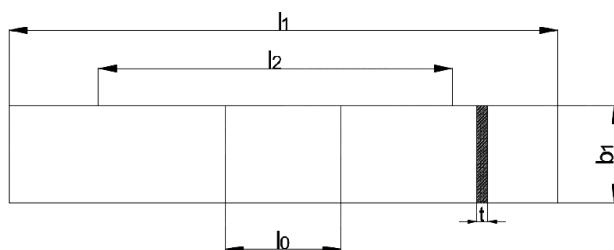


Рис. 2. Форма образцов для испытания

¹ Правила классификации и постройки морских судов. Ч. XVI. СПб.: Российский морской регистр судоходства, 2018. 32 с.

Таблица 2

Конструктивные элементы образцов

Параметр	Значение, мм
Общая длина l_1 , не менее	250
Расстояние между метками, определяющими положение кромок зажимов на образце l_2	1705
Расчетная длина l_0	501
Ширина головки b_1	251

Согласно ГОСТу 33345-2015, процесс обрезки образцов из пластинок выполняется при помощи ленточной пилы со скоростью резки не менее 915 м/мин; число зубьев на метр ленты — 400–550. Шероховатость поверхности образцов должна быть не более Ra = 6,3 мкм. На рис. 3 показаны образцы, изготовленные для испытания. Для определения предела прочности при растяжении изготовленные образцы были испытаны на гидравлической универсальной машине «АМСЛЕР» типа 50 SZBDA 223.



Рис. 3. Изготовленные образцы

Методика испытания образцов подробно описана в ГОСТе 11262–2017¹. Нагружения осуществляются вдоль оси образцов растягивающей нагрузкой при фиксированной скорости перемещения захватов машины ($V = 5$ мм/мин). В результате испытаний определены значения силы Fmax, при которой происходит разрыв (или разрушение) образцов. Предел прочности при растяжении определяется по формуле

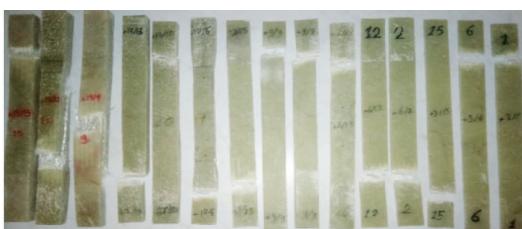
$$\sigma_B = \frac{F_{\max}}{A}, \quad (1)$$

где F_{\max} — разрушающая нагрузка, Н; $A = b \cdot h$ — площадь поперечного сечения образца, мм² (расчитывается после определения средних значений толщины h и ширины b образца, измеряемых в трех плоскостях (в середине и по краям)).

Для каждой партии проведена серия экспериментов до получения удовлетворительных результатов исследуемых образцов. В расчете использовались результаты испытания образцов, разрушенных в рабочей части. Образцы, разрушенные вне рабочей части (в захватах машины), не учитываются, и исключаются из дальнейшего расчета (рис. 4).

¹ ГОСТ 11262-2017. Пластмассы. Метод испытания на растяжение. М.: Стандартинформ, 2018. 24 с.

а)



б)



*Rис. 4. Образцы после испытаний:
а — исключенные из расчета; б — принятые для расчета*

Статическая обработка полученных результатов выполнялась на основе стандартных методов, приведенных в работах [12], [13] с использованием пакета статистических программ Minitab 18.1 (пробная тридцатидневная версия). Эти программы выполняют необходимые расчеты статистической обработки данных на основе выбранного исследователем уровня значимости P . При этом любая нулевая статистическая гипотеза отклоняется, если полученный уровень значимости при расчете меньше уровня значимости, определенного исследователем. В данной работе выбранный уровень значимости составил $P = 0,05$.

Результаты (Results)

Для определения предела прочности ПКМ на основе стеклянных тканей EMC-600-1250-E, EWR 560 и смолы «Яркопол-110» на растяжение в ходе эксперимента были испытаны по пятнадцать образцов для каждой партии (B-3, B-6, B-9, B-12, B-15), результаты которых приведены в табл. 3.

Таблица 3

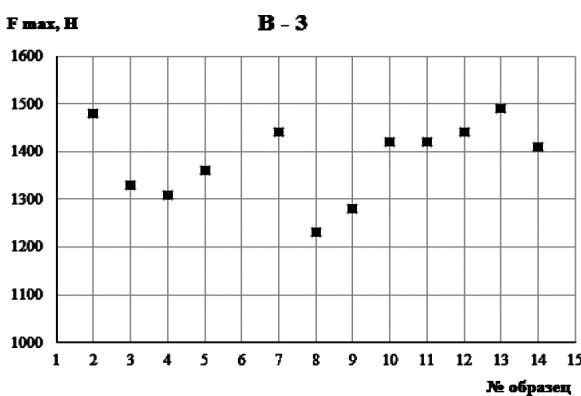
Результаты испытаний образцов на растяжение

Номер образца	Предел прочности при растяжении				
	B-3	B-6	B-9	B-12	B-15
1	143	136	108	119	129
2	159	150	143	125	122
3	151	142	105	152	95
4	157	139	146	131	123
5	149	136	135	136	113
6	134	141	127	157	135
7	159	150	150	124	128
8	140	140	142	109	130
9	147	132	134	137	89
10	157	154	117	77	148
11	157	142	132	133	109
12	161	137	151	135	127
13	165	138	134	153	131
14	166	134	128	134	121
15	136	136	105	147	91

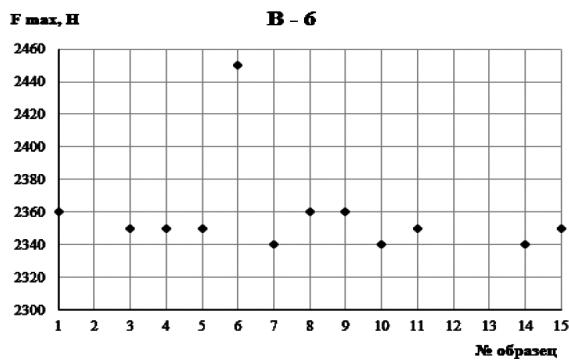
Примечание. — разрушение образца произошло вне рабочей зоны, результаты в расчет не принимаются.

Распределения разрушающей нагрузки F_{\max} для испытанных партий в графическом виде показаны на рис. 5.

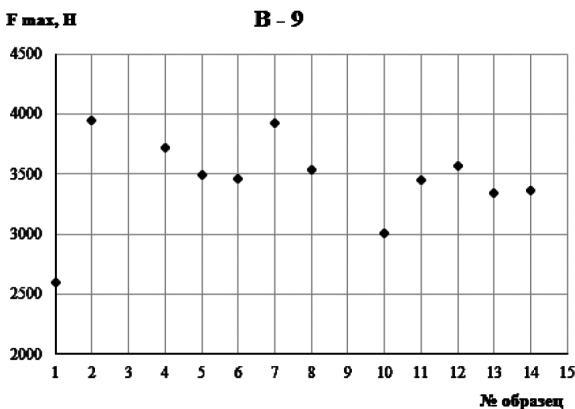
а)



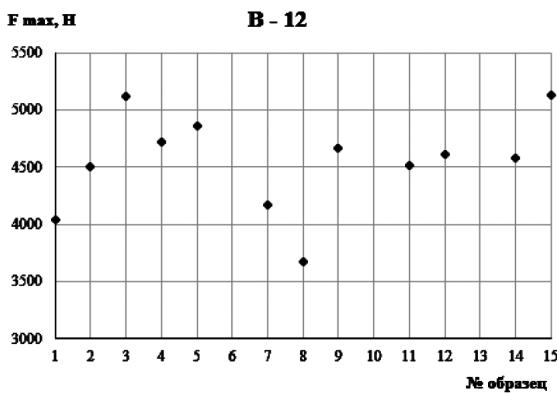
б)



в)



г)



д)

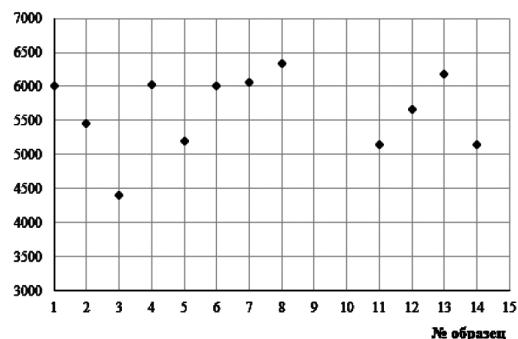
B - 15

Рис. 5. Распределение разрушающей нагрузки для каждой партии:
 а — результаты для партии B-3; б — результаты для партии B-6;
 в — результаты для партии B-9;
 г — результаты для партии B-12; д — результаты для партии B-15

При испытании образцов на растяжение установлено соотношение между разрушающей нагрузкой F_{\max} и количеством слоев (рис. 6), при этом F_{\max} линейно увеличивается с увеличением количества слоев:

$$F_{\max} = 356,51 \cdot N + 266,91. \quad (2)$$

Используя метод дисперсионного анализа (ANOVA), результаты которого приведены в табл. 4, была выполнена проверка значимости влияния количества слоев на предел прочности

ПКМ на основе выбранных компонентов. Полученный уровень значимости дисперсионного анализа меньше, чем предлагаемый уровень $P - value = 0,05$, откуда следует, что средние значения между партиями отличаются друг от друга, и, следовательно, можно сделать вывод о значимости влияния количества слоев на предел прочности при растяжении.

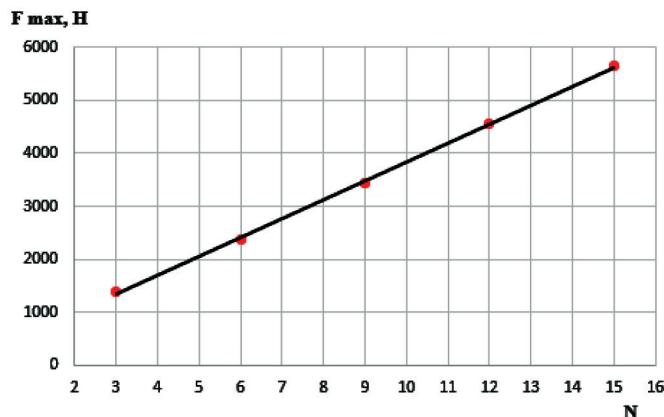


Рис. 6. Зависимость разрушающей нагрузки от количества слоев

Таблица 4

Проверка значимости влияния количества слоев на предел прочности при растяжении

Метод					
Нулевая гипотеза — все средние однородны.					
Альтернативная гипотеза — существует хотя бы одно отличающееся среднее.					
Предлагаемый уровень значимости равен 0,05.					
Информация о факторе					
Фактор	Уровень	Значение			
Фактор	5	B-3;B-6;B-9;B-12;B-15			
Дисперсионный анализ					
Источник	DF	Adj SS	Adj MS	F-value	P-value
Фактор	4	7393	1848,3	17,50	0,000
Ошибка	55	5810	105,6	—	—
Всего	59	13203	—	—	—

Примечания: DF — статистическое число степеней свободы; SS — сумма среднеквадратичных отклонений (СКО); MS — математическое ожидание СКО; Adj SS — скорректированная сумма СКО; Adj MS — скорректированное математическое ожидание СКО; F-Value — статистика критерия Фишера; P-Value — уровень значимости.

Для установления математических соотношений, описывающих влияние изменчивости количества слоев на предел прочности ПКМ на основе стеклянных тканей EMC-600-1250-E, EWR 560 и смолы «Яркопол-110», используется регрессионный анализ, выполненный программой Minitab 18.1, по результату которого математическая зависимость между количеством слоев (N) и пределом прочности при растяжении σ_b имеет следующий вид:

$$\sigma_b = 159,53 - 2,522 \cdot N. \quad (3)$$

На рис. 7 показан график зависимости между количеством слоев и пределом прочности при растяжении, и также вычислен 95 % доверительный интервал для линии регрессии в целях установления теоретической значимости между изучаемыми величинами σ_b .

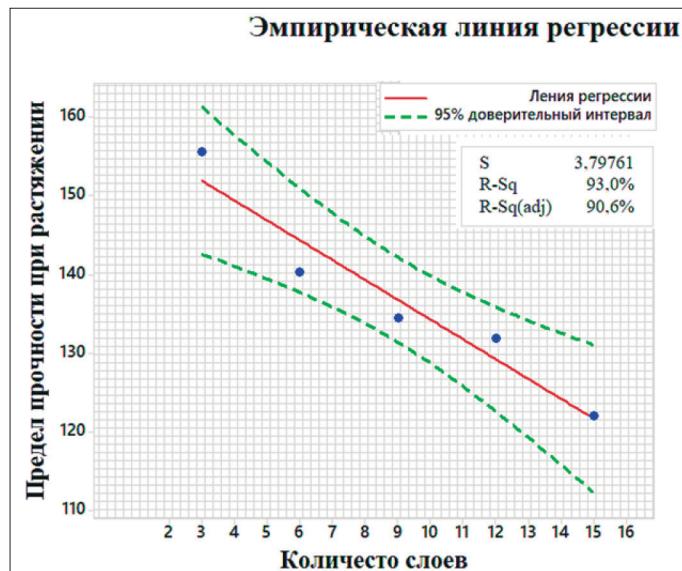


Рис. 7. Зависимость предела прочности при растяжении от количества слоев

Обсуждение (Discussion)

Результаты испытаний образцов на растяжение подтверждают значимость влияния количества слоев, армированных наполнителями на разрушающую нагрузку, а также на предел прочности изучаемого материала. Выяснена линейность обеих математических зависимостей разрушающей нагрузки и предела прочности от количества слоев. Несмотря на то, что разрушающая нагрузка пропорциональна количеству слоев, установлено уменьшение предела прочности при растяжении с увеличением количества слоев. Данные результаты объясняются двумя факторами: во-первых, увеличением площади сечения образцов за счет увеличения количества слоев; во-вторых, хрупкостью связующей, так как с увеличением количества слоев одновременно увеличивается доля участия связующего в принятии нагрузки.

Результаты проведенного исследования показали необходимость более рационального выбора соотношения компонентов на этапе проектирования конструкций из ПКМ.

Заключение (Conclusion)

В данной работе для исследования влияния количества слоев на механические свойства ПКМ были проведены экспериментальные исследования, полученные на основе испытаний пяти партий образцов с разным количеством слоев на растяжение. Результаты подтверждают значимость влияния количества слоев на предел прочности ПКМ на основе стеклянных тканей при растяжении, при этом установлено линейное соотношение между ними. Также выясняется линейность зависимости между разрушающей нагрузкой и количеством слоев. Результаты исследования показывают, что разрушающая нагрузка пропорциональна количеству слоев, а предел прочности при растяжении снижается с увеличением количества слоев. Полученные результаты можно использовать для рационального проектирования судовых конструкций из ПКМ на основе стеклянных тканей, а именно при выборе количества слоев, необходимых для восприятия воздействующих нагрузок. Для возможного практического применения ПКМ в судостроении необходимо, по-нашему мнению, изучение следующих дополнительных факторов:

- исследование механических свойств при других видах нагрузок на сжатие и изгиб;
- использование других типов смол, в частности, эпоксидной смолы в качестве полимерной матрицы;
- установление влияния количества слоев ровинговой стеклоткани EWR 560, внедренных в структуру материала, на предел прочности при растяжении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Tawfik B. Weight reduction and strengthening of marine hatch covers by using composite materials / B. Tawfik, H. Leheta, A. Elhewy, T. Elsayed // International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering. — 2017. — Vol. 9. — Is. 2. — Pp. 185–198. DOI: 10.1016/j.ijnaoe.2016.09.005.
2. Никитин В. С. Современное состояние и перспективы применения композитов в зарубежном подводном кораблестроении / В. С. Никитин, В. Н. Половинкин // Труды Крыловского государственного научного центра. — 2017. — № 4 (328). — С. 57–74.
3. Васильев В. В. Композиционные материалы / В. В. Васильев, В. Д. Протасов, В. В. Болотин. — М.: Машиностроение, 1990. — 512с.
4. Карпов Я. С. Композиционные материалы: компоненты, структура, переработка в изделия / Я. С. Карпов, О. В. Ивановская. — Харьков: Национальный аэрокосмический ун-т, 2001. — 153с.
5. Лахтин Ю. М. Материаловедение / Ю. М. Лахтин, В. П. Леонтьева. — М.: Машиностроение, 1990. — 527 с.
6. Мальцев И. М. Технология формирования корпуса судна из листового композиционного материала/ И. М. Мальцев, А. Р. Рубан // Морские интеллектуальные технологии. — 2018. — № 1-1 (39). — С. 71–76.
7. Саргсян А. С. Высокопрочные стеклопластики на основе теплостойких и термостойких полимерных связующих для изделий судовой электротехники: дис. ... канд. техн. наук: 05.16.09 / Артем Самвелович Саргсян. — СПб.: ФГУП ЦНИИ конструкционных материалов «Прометей», 2016. — 143 с.
8. Belgacema L. Experimental investigation of notch effect and ply number on mechanical behavior of interply hybrid laminates (glass/carbon/epoxy) / L. Belgacema, D. Ouinas, J. A.V. Olay, A. A. Amado // Composites Part B: Engineering. — 2018. — Vol. 145. — Pp. 189–196. DOI: 10.1016/j.compositesb.2018.03.026.
9. Rahmani H. Mechanical Properties of Carbon Fiber / Epoxy Composites: Effects of Number of Plies, Fiber Contents, and Angle-Ply Layers / H. Rahmani, S. H. M. Najafi, S. Saffarzadeh-Matin, A. Ashori // Polymer Engineering & Science. — 2014. — Vol. 54. — Is. 11. — Pp. 2676–2682. DOI: 10.1002/pen.23820.
10. Лобанов Д. С. Экспериментальные исследования деформационных и прочностных свойств полимерных композиционных материалов и панелей с заполнителем: дис. ... канд. техн. наук: 01.02.04 / Дмитрий Сергеевич Лобанов. — Пермь: ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», 2015. — 148 с.
11. Hashim N. Tensile Properties of Woven Intra-Ply Carbon/Kevlar Reinforced Epoxy Hybrid Composite at Sub-Ambient Temperature / N. Hashim, D. L. A. Majid, D. M. Baitab, N. Yidris, R. Zahari // Reference Module in Materials Science and Materials Engineering. — 2019. — Vol. 15. — Pp. 1–8. DOI: 10.1016/B978-0-12-803581-8.11567-X
12. Степнов М. Н. Статистические методы обработки результатов механических испытаний: Справочник / М. Н. Степнов. — М.: Машиностроение, 1985. — 232 с.
13. Кремер Н. Ш. Теория вероятностей и математическая статистика / Н. Ш. Кремер. — М.: Миметика, 2016. — 514 с.

REFERENCES

1. Tawfik, B., H. Leheta, A. Elhewy, and T. Elsayed. “Weight reduction and strengthening of marine hatch covers by using composite materials.” *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering* 9.2 (2017): 185–198. DOI: 10.1016/j.ijnaoe.2016.09.005.
2. Nikitin, V., and V. Polovinkin. “State of the art and prospects of composites in foreign submarine shipbuilding.” *Trudy Krylovskogo gosudarstvennogo nauchnogo tsentra* 4 (2017): 57–74.
3. Vasilyev, V. V., V. D. Protasov, and V.V. Bolotin. *Kompozitsionnye materialy*. M.: Mashinostroenie, 1990.
4. Karpov, Ya. S, and O. V. Ivanovskaya. *Kompozitsionnye materialy: komponenty, struktura, pererabotka v izdeliya*. Khar’kov: Natsional’nyi aehrokosmicheskii un-t, 2001.
5. Lakhtin, Yu. M., and V. P. Leont’eva. *Materialovedenie*. M.: Mashinostroenie, 1990.
6. Maltsev, Maksim I., and Anatoliy R. Ruban. “Technology of the hull formation from sheet composite material.” *Marine Intelligent Technologies* 1-1(39) (2018): 71–76.
7. Sargsyan, A. S. Vysokoprochnye stekloplastiki na osnove teplostoiikh i termostoikikh polimernykh svyazuyushchikh dlya izdelii sudovoi ehlekrotekhniki. PhD diss. SPb.: FGUP “CNII konstrukcionnyh materialov “Prometej”, 2016.

8. Belgacema, L., D. Ouinas, J.A.V. Olay, and A.A. Amado. "Experimental investigation of notch effect and ply number on mechanical behavior of interply hybrid laminates (glass/carbon/epoxy)." *Composites Part B: Engineering* 145 (2018): 189–196. DOI: 10.1016/j.compositesb.2018.03.026.
9. Rahmani, Hossein, S. Heydar Mahmoudi Najafi, Shohreh Saffarzadeh-Matin, and Alireza Ashori. "Mechanical properties of carbon fiber/epoxy composites: Effects of number of plies, fiber contents, and angle-ply layers." *Polymer Engineering & Science* 54.11 (2014): 2676–2682. DOI: 10.1002/pen.23820.
10. Lobanov, D. S. Ehksperimental'nye issledovaniya deformatsionnykh i prochnostnykh svoistv polimernykh kompozitsionnykh materialov i panelei s zapolnitelem. PhD diss. Perm': FGBOU VPO "Permskii natsional'nyi issledovatel'skii politekhnicheskii universitet", 2015.
11. Hashim, N., D. L. A. Majid, D. M. Baitab, N. Yidris, and R. Zahari. "Tensile Properties of Woven Intra-Ply Carbon/Kevlar Reinforced Epoxy Hybrid Composite at Sub-Ambient Temperature." *Reference Module in Materials Science and Materials Engineering* 15 (2019): 1–8. DOI: 10.1016/B978-0-12-803581-8.11567-X.
12. Stepnov, M. N. *Statisticheskie metody obrabotki rezul'tatov mekhanicheskikh ispytaniI: Spravochnik*. M.: MashinostroeniE, 1985.
13. Kremer, N. Sh. *Teoriya veroyatnosti i matematicheskaya statistika*. M.: Mimetika, 2016.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Алсаид Мазен — аспирант
 ФГБОУ ВО «Астраханский государственный
 технический университет»
 414056, Российская Федерация, Астрахань,
 ул. Татищева, 16
 e-mail: mazenal60@yahoo.com

Саламех Али —
 кандидат технических наук, доцент
 ФГБОУ ВО «Астраханский государственный
 технический университет»
 414056, Российская Федерация, Астрахань,
 ул. Татищева, 16
 e-mail: a.salameh@mail.ru

Мамонтов Виктор Андреевич —
 доктор технических наук, профессор
 ФГБОУ ВО «Астраханский государственный
 технический университет»
 414056, Российская Федерация, Астрахань,
 ул. Татищева, 16
 e-mail: a.salameh@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Alsaid, Mazen — Postgraduate
 Astrakhan State Technical University
 16 Tatishcheva Str., Astrakhan, 414056,
 Russian Federation
 e-mail: mazenal60@yahoo.com

Salamekh, Ali —
 PhD, associate professor
 Astrakhan State Technical University
 16 Tatishcheva Str., Astrakhan, 414056,
 Russian Federation
 e-mail: a.salameh@mail.ru

Mamontov, Viktor A. —
 Dr. of Technical Sciences, professor
 Astrakhan State Technical University
 16 Tatishcheva Str., Astrakhan, 414056, Russian
 Federation
 e-mail: a.salameh@rambler.ru

Статья поступила в редакцию 25 апреля 2019 г.

Received: April 25, 2019.