

3. ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ, ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЕРЕВОПЕРЕРАБОТКИ

УДК 665.947.8

Н.Г. Козлов, Е.И. Гапанькова, И.А. Латышевич, А.В. Бильдюкевич

ВЛИЯНИЕ ТИПА АРМИРУЮЩИХ ВОЛОКНИСТЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ ПРЕПРЕГА НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЛЫЖ

Введение. Препреги (полимерные композиционные материалы) представляют собой готовые для переработки однослойные армирующие наполнители в форме однонаправленных директ-ровингов (ровингов), предварительно пропитанных специальным связующим в неотвержденном состоянии. Здесь связующее – композиция на основе эпоксидной смолы, отвердителя и функциональных добавок. Данный вид препрегов имеет наибольшее распространение. Такой полуфабрикат имеет вид двусторонней клейкой ленты с защитными покрытиями (плёнками) с одной или двух сторон.

Армирование полимерных композиционных материалов осуществляется волокнистыми наполнителями, включающими большое число разнообразных текстильных структур, изготавливаемых на основе волокон и нитей (пряжи, химических нитей) и/или бумажных полотен. Широкий набор различных волокнистых структур объясняется необходимостью получения препрегов с различными механическими, технологическими и функциональными свойствами.

Механические свойства препрегов определяются, в первую очередь, строением армирующих наполнителей (АН): видом, свойствами, размерами, расположением и пр.

Таким образом, используя различные виды АН и технологические приемы их расположения в препреге, можно оптимизировать расположение армирующих волокон и нитей в готовом изделии на его основе и добиться такого наиболее рационального варианта, при котором большая

часть армирующих волокон расположена в направлении главных действующих механических напряжений в условиях эксплуатации.

К факторам, определяющим выбор АН, относят:

- пространственное строение для получения заданного расположения волокон или нитей;
- достижение оптимальной степени армирования;
- возможность равномерного расположения АН по заданной поверхности изделия сложной формы (например, двоякой кривизны);
- доступность. экономические соображения и др.

В композитах при их нагружении расположение волокон изменяется незначительно, хотя они деформируются вплоть до разрушения композита.

Широко распространены различные виды расположения волокон в АН:

- материалы, наполненные порошкообразными частицами;
- однонаправленные материалы;
- двунаправленные материалы;
- с хаотическим расположением волокон/частиц в плоскости;
- с хаотическим расположением волокон в пространстве.

Дать обобщенное описание всех волокнистых структур, применяемых в качестве АН, не представляется возможным в связи с многочисленными прикладными задачами создания материалов на их основе и изделий с самыми разнообразными характеристиками.

Нами были применены однонаправленные структурные элементы (ленты) при получении препрегов, как наиболее распространенный тип при изготовлении пластиковых лыж. В качестве прототипа изучена технология клеевых препрегов фабрики STC (Центр спортивных технологий) в городе Балабаново Калужской области.

На рис. 1 представлены лабораторные образцы препрегов, полученные на основе различных АН.

Препреги получают в основном путем протягивания наполнителя через ванну с раствором, расплавом, дисперсией или эмульсией связующего одним из следующих способов [Колосова и др., 2018]: пропиткой при помощи контактного валика, полупогруженного в ванну со связующим; рулонной пропиткой, при которой тканый наполнитель погружают в ванну со связующим; центробежной пропиткой, при которой тканый наполнитель помещается на наружную поверхность центробежной камеры, в которой затем разливается связующее; напылением (пультверизацией) с использованием сжатого воздуха; пропиткой с использованием связующих в виде эластичных пленок.

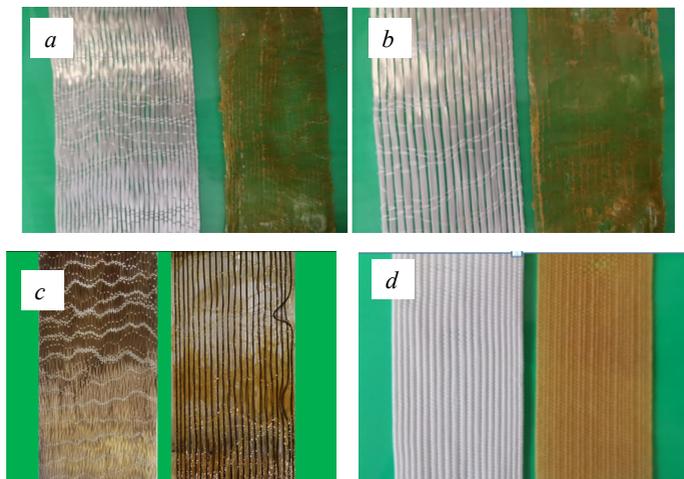


Рис. 1. Лабораторные образцы препрегов: *a*) директ-ровинг стеклянный (600 тэкс); *b*) директ-ровинг стеклянный (1200 тэкс); *c*) базальтовое волокно; *d*) полиэфирное волокно

Fig. 1. Laboratory samples of prepregs: *a*) glass direct roving (600 tex); *b*) glass direct roving (1200 tex); *c*) basalt fiber; *d*) polyester fiber

Получаемые препреги являются промежуточными материалами, содержащими заданное количество волокнистого однонаправленного наполнителя и полимерной матрицы, и представляют собой полуфабрикат. На их основе различными методами переработки получают композиционные материалы и изделия самой различной формы. В качестве АН выбраны однонаправленные ленты на основе директ-ровинга стеклянного, базальтового и полиэфирного волокна. Выбор АН обоснован тем, что вышеуказанные материалы являются отечественными продуктами и широко распространенными в своем использовании.

Цель данного исследования – определить влияние различных АН на эксплуатационные свойства лыж.

Методики исследования. Разработанное связующее на основе эпоксидной матрицы, органического растворителя и модифицирующих добавок приготовлено механо-химическим методом на установке, изображенной на рис. 2.

Расчетные количества модифицирующих добавок, отвердителя и эпоксидной смолы загружали в реактор 1, снабженный верхнеприводной ме-

шалкой 4, контактным термометром 2 и теплообменником 3. Добавляли необходимое количество растворителя. Реактор помещали на колбонагреватель 6 и нагревали до 55 °С. При работающей мешалке 4 добивались полного растворения компонентов. Перемешивание осуществляли до образования гомогенной смеси. Связующее представляет собой светло-коричневую вязкую жидкость.

Лабораторные образцы препрегов на основе эпоксидного связующего получали путем пропитки АН разработанным полимерным связующим с использованием установки, общий вид которой изображен на рис. 3.

Основные узлы и устройство лабораторной установки отображены на рис. 4.

Принцип заправки армирующего материала и подготовки к работе установки изображен на фото (рис. 5, *a-d*).

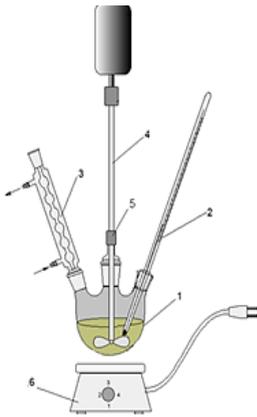


Рис. 2. Установка для получения связующего:
1 – реактор; 2 – термометр; 3 – обратный холодильник; 4 – мешалка лопастная; 5 – соединительная муфта; 6 – колбонагреватель

Fig. 2. Installation for obtaining a binder:
1 – reactor; 2 – thermometer; 3 – reverse refrigerator; 4 – paddle mixer; 5 – coupling; 6 – heating mantle

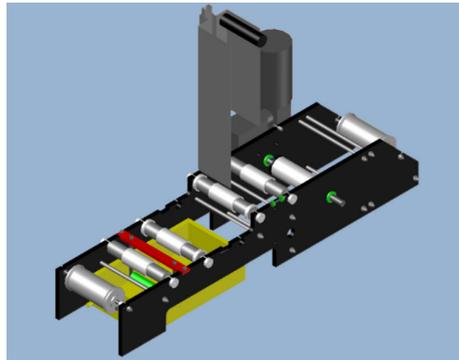


Рис. 3. Общий вид установки для изготовления препрегов
Fig. 3. General view of the installation for the manufacture of prepreg

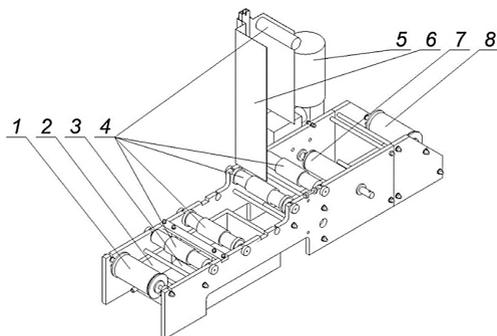


Рис. 4. Устройство лабораторной установки для изготовления препрегов:

1 – узел подачи армирующего материала; 2 – ванна пропиточная; 3 – валик погружной; 4 – валики направляющие; 5 – мотор-редуктор с частотным управлением; 6 – камера сушильная; 7 – узел намотки готового продукта; 8 – узел подачи разделительной пленки

Fig. 4. Design of a laboratory plant for prepreg production:

1 – reinforcing material supply unit; 2 – impregnating bath; 3 – submersible roller; 4 – guide rollers; 5 – motor-reducer with frequency control; 6 – drying chamber; 7 – finished product winding unit; 8 – separation film supply unit)

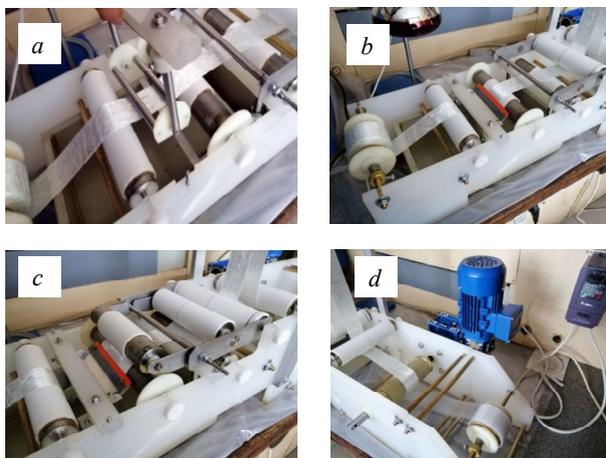


Рис. 5. Принцип работы лабораторной установки: *a* – погружение армирующего наполнителя в разработанное связующее; *b, c* – вид лабораторной установки, полностью подготовленной к работе; *d* – участок намотки готового продукта

Fig. 5. The principle of operation of the laboratory installation: *a* – immersion of the reinforcing filler in the developed binder; *b, c* – view of the laboratory setup fully prepared for works; *d* – winding section of the finished product

В данной работе объектом исследования выступают спортивно-беговые пластиковые лыжи, произведенные на производственных площадях филиала «Телеханы» Государственного предприятия «Беларусьторг». С применением разработанных препрегов были изготовлены экспериментальные образцы пластиковых лыж. Физико-механические свойства образцов изучены в соответствии с ГОСТ 30045 и разработанной на его основе методики [Латышевич и др., 2020].

В качестве основных показателей выбраны: нагрузка распрямления (индекс жесткости по Фишеру, FA), жесткость средней части лыжи, высота остаточного прогиба, постоянная жесткости передней (задней) части лыжи.

Результаты исследования. В качестве лыж сравнения использовались образцы, изготовленные с применением препрегов фирмы Hexcel марки L402142/001 – на базе биаксиального стеклоровингового материала, используемого в настоящее время на производстве.

В таблице представлены пределы изменения основных показателей качества для лыж, изготовленных с использованием препрегов на основе различных АН. Также были изготовлены экспериментальные лыжи, изготовленные без использования клевого препрега, путем полного оборачивания армирующим препрегом, так как лыжный пакет представляет собой определенную многослойную структуру, описанную ранее [Латышевич и др., 2020].

Следует отметить, что выборка для лыж, изготовленных с использованием армирующего препрега на основе дирекровинга (1200 текс) составляет порядка 120 шт., так как это основной материал, применяемый в отечественной разработке. Для остальных серий представленных лыж выборка составляет порядка 10–15 шт.

Выборочно произведены испытания по определению разрушающей нагрузки для лыж, изготовленных с использованием различных АН. Для корректного сравнения были выбраны лыжи одного типоразмера – 1800 мм. Целесообразно ввести для лыж длиной 1800 мм отдельное значение разрушающей нагрузки, не меньше которой должна выдержать лыжа. Согласно ГОСТ 30045 для лыж длиной 1650 и 1750 мм значение нагрузки должно составлять не менее 1766 Н, длиной 1850 и 1950 мм – не менее 2354 Н, по методу линейной интерполяции определили значение нагрузки для лыж длиной 1800 мм: 2060 Н. Результаты испытания на прочность средней части лыжи сведены в табл. 2.

Все выбранные образцы выдержали испытание, однако результат следует относить в конкретному образцу лыжи, так как определяющим фактором является средний клин и особенности его изготовления.

Таблица 1

Основные физико-механические показатели лыж, изготовленных с использованием различных армирующих наполнителей

The main physical and mechanical characteristics of skis made using various reinforcing fillers

АН	Индекс жесткости FA, Н	Жесткость средней части лыжи, Н/мм	Жесткость пяточной части лыжи, Н/мм	Жесткость носочной части лыжи, Н/мм	Стрела прогиба, мм
Директ-ровинг стеклянный (600 тэкс)	104–258	126–167	0,53–1,7	1,43–1,97	27,4–34,5
Директ-ровинг стеклянный (1200 тэкс)	330–581	131–210	1,53–1,98	2,43–2,97	22,5–28,3
Базальтовое волокно	160–290	118–135	0,5–1,0	1,23–1,29	20,4–26,4
Полиэфирное волокно	118–215	128–147	0,67–1,27	1,27–1,5	16,7–21,9
Директ-ровинг стеклянный (600 тэкс) Полное оборачивание	375–430	153–191	1,43–1,63	2,5–2,97	34,3–36,9
Импортный препрег	133–485	128–177	1,53–2,37	2–3,1	24,5–29,1
Норма	Не менее 50	–	1,33–2,0	1,66–2,66	Не более 30

На полученный результат оказывает влияние ряд факторов: особенно при формировании лыжного пакета, условия прессования и используемые декоративный и скользящие пластики. В ряде случаев использовали ранее не применяемые на производстве материалы (новые разработки), что повлияло на конечные значения.

Представленные в таблице материалы говорят о перспективности использования в качестве АН однонаправленной ленты на основе директ-ровинга стеклянного (тэкс 1200).

Лыжи, полученные с применением препрега, изготовленного на основе полиэфирного и базальтового волокон, имеют заниженные показатели, ввиду того что сам материал имеет модуль упругости ниже, чем аналогичный параметр у препрега.

Таблица 2

Испытание на прочность средней части лыжи

Strength test of the middle part of the ski

АН	Разрушающая нагрузка, Н	Рекомендуемая норма, Н	Примечание	
Директ-ровинг стеклянный (1200 тэкс)	2480	2060	Трехступенчатая полоса в месте шипового соединения	
Базальтовое волокно	2122		Смятие в шиповом соединении в месте закрепления	
Полиэфирное волокно	2157		Двухступенчатая полоса в шиповом соединении	
Импортный препрег	2537		Смятие в шиповом соединении	

Лыжи, изготовленные без применения клеевого препрега, имеют показатели на уровне с лыжами сравнения, однако стоит отметить завышение показателя стрелы прогиба, что несет в себе изменение формы и правильного изгиба лыжи и является недопустимым.

Выводы. На примере разработанного отечественного эпоксидного связующего, полученных на его основе с использованием различных АН (стеклянных, базальтовых и полиэфирных) препрегов, показано, что физико-механические свойства конечного продукта (лыж) напрямую зависят от природы наполнителя. Матрица между стеклянными волокнами находится в более напряженном состоянии, чем между иными применяемыми волокнами, что позволяет определить директ-ровинг стеклянный как перспектив-

ный материал для изготовления однонаправленных препрегов. Приведены и обсуждены результаты исследований лыж по основным эксплуатационным показателям.

Библиографический список

Колосова А.С., Сокольская М.К., Виткалова И.А., Торлова А.С., Пикалов Е.С. Современные методы получения полимерных композиционных материалов и изделий из них // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2018. № 8. С. 123–129.

Латышев И.А., Гапанькова Е.И., Полховский А.В., Бильдюкевич А.В., Шетько С.В., Прохорчик С.А., Клюев А.Ю., Козлов Н.Г. Полимерный композиционный материал на основе терпеноидного сырья для производства пластиковых лыж // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2020. Вып. 233. С. 208–220.

References

Kolosova A.S., Sokolskaya M.K., Vitkalova I.A., Torlova A.S., Pikalov E.S. Sovremennyye metody polucheniya polimernykh kompozitsionnykh materialov i izdeliy iz nikh [Modern methods for obtaining polymer composite materials and products from them]. *International Journal of Applied and Fundamental Research*, 2018, no. 8, pp. 123–129. (In Russ.)

Latyshovich I.A., Gapankova A.I., Polkhovsky A.V., Bilydukevich A.V., Shetko S.V., Prokhorchik S.A., Klyuev A.Yu., Kozlov N.G. Polimernyy kompozitsionnyy material na osnove terpenoidnogo syr'ya dlya proizvodstva plastikovykh lyzh [Polymer composite material based on terpenoid raw materials for the production of plastic skis]. *Izvestia Sankt-Peterburgskoy Lesotehnicheskoy Akademii*, 2020, iss. 233, pp. 208–220. (In Russ.)

Материал поступил в редакцию 10.09.2022

Козлов Н.Г., Гапанькова Е.И., Латышев И.А., Бильдюкевич А.В. Влияние типа армирующих волокнистых наполнителей препрега на физико-механические свойства лыж // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2022. Вып. 240. С. 186–196. DOI: 10.21266/2079-4304.2022.240.186-196

Проведен анализ физико-механических свойств спортивно-беговых пластиковых лыж, изготовленных с использованием препрегов на основе различных армирующих наполнителей. Армирование полимерных композиционных материалов осуществляется волокнистыми наполнителями, включающими большое число разнообразных текстильных структур, изготавливаемых на основе волокон и нитей (пряжи, химических нитей) и/или бумажных полотен. В качестве армирующих наполнителей были выбраны отечественные широко распространенные материалы: директ-ровинг стеклянный, базальтовое и полиэфирное волокно. Широкий набор различных волокнистых структур объясняется необходимостью получения препрегов с

различными механическими, технологическими и функциональными свойствами, которые будут иметь определяющие значения для конечного продукта. Цель данного исследования – определить влияние различных АН на эксплуатационные свойства лыж. В качестве определяющих эксплуатационных свойств изучены: нагрузка распрямления (индекс жесткости по Фишеру), жесткость средней части лыжи, высота остаточного прогиба, постоянная жесткости передней (задней) частей лыжи. На примере разработанного отечественного эпоксидного связующего, полученных на его основе препрегов с использованием различных армирующих наполнителей (стеклянных, базальтовых и полиэфирных) показано, что физико-механические свойства конечного продукта (лыж) напрямую зависят от природы наполнителя.

Ключевые слова: наполнитель, волокно, препрег, лыжи, свойства.

Kozlov N.G., Hapankova E.I., Latyshevich I.A., Bilyukevich A.V. The type influence of the reinforcing fiber filler in prepregs on the physical and mechanical properties of skis. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhnicheskoy Akademii*, 2022, iss. 240, pp. 186–196 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2022.240.186-196

The analysis of the physical and mechanical properties of the sport-running plastic skis made with the use of prepregs based on different reinforcing fillers has been carried out. Reinforcement of polymeric composite materials is carried out by fiber fillers, which include a large number of various textile structures made on the basis of fibers and yarns (yarn, chemical threads) and/or paper webs. Domestic widespread materials were chosen as reinforcing fillers: direct glass roving, basalt and polyester fibers. The wide range of different fiber structures is explained by the need to obtain prepregs with different mechanical, technological and functional properties, which will have decisive values for the final product. The purpose of this study is to determine the influence of different NAs on the performance properties of skis. The following performance properties were studied as determinants: the straightening load (Fischer stiffness index), the stiffness of the ski middle part, the height of the residual deflection, the stiffness constant of the ski front (rear) parts. On the example of the developed domestic epoxy binder and prepregs obtained on its basis using different reinforcing fillers (glass, basalt and polyester), it is shown that the physical and mechanical properties of the final product (skis) directly depend on the nature of the filler.

Key words: filler, fiber, prepreg, skis, properties.

КОЗЛОВ Николай Гельевич – ведущий научный сотрудник лаборатории мембранных процессов. Государственное научное учреждение «Институт физико-органической химии Национальной академии наук Беларуси», доктор химических наук.

220072, ул. Сурганова, д. 13, г. Минск, Республика Беларусь. E-mail: loc@ifoch.bas-net.by.

KOZLOV Nikolay G. – DSc (Chemistry), Leading Researcher of the Laboratory of Membrane Processes. Public scientific institution «Institute of physical organic chemistry of The National academy of sciences of Belarus».

220072. Surganov str. 13. Minsk. Republic of Belarus. E-mail: loc@ifoch.bas-net.by.

ГАПАНЬКОВА Елена Игоревна – научный сотрудник лаборатории мембранных процессов. Государственное научное учреждение «Институт физико-органической химии Национальной академии наук Беларуси».

220072, ул. Сурганова, д. 13, г. Минск, Республика Беларусь. E-mail: elenagapankova@gmail.com.

HAPANKOVA Alena I. – researcher of the Laboratory of Membrane Processes. State scientific institution «Institute of physical organic chemistry of The National academy of sciences of Belarus».

220072. Surganov str. 13. Minsk. Republic of Belarus. E-mail: elenagapankova@gmail.com.

ЛАТЫШЕВИЧ Ирина Александровна – научный сотрудник лаборатории мембранных процессов. Государственное научное учреждение «Институт физико-органической химии Национальной академии наук Беларуси».

220072, ул. Сурганова, д. 13, г. Минск, Республика Беларусь. E-mail: irinalatyshevitch@gmail.com.

LATYSHEVICH Iryna A. – researcher of the Laboratory of Membrane Processes. State scientific institution «Institute of physical organic chemistry of The National academy of sciences of Belarus».

220072. Surganov str. 13. Minsk. Republic of Belarus. E-mail: irinalatyshevitch@gmail.com.

БИЛЬДЮКЕВИЧ Александр Викторович – академик, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией мембранных процессов. Государственное научное учреждение «Институт физико-органической химии Национальной академии наук Беларуси», доктор химических наук.

220072, ул. Сурганова, д. 13, г. Минск, Республика Беларусь. Тел.: 8(017)356-80-97. E-mail: uf@ifoch.bas-net.by.

BILDYUKEVICH Alexander V. – DSc (Chemistry), academician, Leading Researcher, Head of a theme group of chemistry of nitrogen-containing organic substances. State scientific institution «Institute of physical organic chemistry National academy of sciences».

220072. Surganov str. 13. Minsk. Republic of Belarus. E-mail: uf@ifoch.bas-net.by