МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БРЯНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

КАФЕДРА МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ И ТЕХНОЛОГИИ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

РЕФЕРАТ

по дисциплине «Материаловедение»

на тему:

Композиционные материалы в машиностроении

Выполнил(а): студент 3 курса группы ТМ-31 Кузнецов Дмитрий Андреевич
15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств

Руководитель: доцент, кандидат технических наук Соколова Ирина Викторовна

Брянск · 2026

ОБРАЗЕЦ

Демонстрационный образец. Данные условны. Не является выполненной работой конкретного студента.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 3

ГЛАВА 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ 4

1.1. Понятие и классификация композиционных материалов 4

1.2. Матрица и наполнитель: роль компонентов 5

1.3. Основные методы получения композитов 6

ГЛАВА 2. АНАЛИЗ СВОЙСТВ И ПРИМЕНЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В МАШИНОСТРОЕНИИ 8

2.1. Сравнительная характеристика металлических и полимерных композитов 8

2.2. Расчёт удельной прочности и жёсткости конструкционных материалов 9

2.3. Области применения композитов в машиностроении 11

ГЛАВА 3. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПОЗИТОВ 13

3.1. Технологичность и себестоимость изделий из композитов 13

3.2. Перспективы развития композитных технологий 14

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 15

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ 16

Нумерация страниц соответствует демонстрационному PDF. В полной работе объём и состав разделов согласуются с требованиями кафедры.

ВВЕДЕНИЕ

Современное машиностроение предъявляет к конструкционным материалам противоречивые требования: сочетание высокой прочности и жёсткости с малой плотностью, коррозионной стойкостью и технологичностью. Традиционные металлы и сплавы не всегда обеспечивают такое сочетание, поэтому всё большее распространение получают композиционные материалы — искусственно созданные гетерогенные системы из двух и более компонентов, сохраняющих индивидуальность и обладающих свойствами, которых не имеет ни один из них в отдельности [2, с. 14]. Актуальность темы обусловлена расширением применения композитов в авиастроении, транспортном и энергетическом машиностроении, где снижение массы конструкции напрямую определяет топливную экономичность и эксплуатационные характеристики изделий [4, с. 37].

Цель реферата — охарактеризовать композиционные материалы как класс конструкционных материалов и оценить практику их применения в машиностроении. Для достижения цели поставлены задачи: рассмотреть классификацию и строение композитов; проанализировать их свойства и области применения; оценить экономические и технологические аспекты использования. Объект исследования — композиционные материалы, предмет — их свойства и применение в машиностроении. Методы исследования: анализ научно-технической литературы, сравнительный и системный анализ. Структура работы включает введение, три главы, заключение и список использованных источников [1, с. 5].

ГЛАВА 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

1.1. Понятие и классификация композиционных материалов

Композиционным материалом (композитом) принято называть искусственно созданный неоднородный материал, состоящий из двух или более компонентов, различающихся по химическому составу, физико-механическим свойствам и геометрии, при этом компоненты сохраняют свою индивидуальность, а материал в целом приобретает новые свойства, не сводящиеся к простой сумме свойств исходных составляющих. Ключевыми признаками композита являются наличие границы раздела между компонентами, регулируемое распределение наполнителя в матрице и эффект синергизма, обеспечивающий улучшение эксплуатационных характеристик [2, с. 14]. Именно последний признак отличает композит от традиционных сплавов и механических смесей.

Классификация композиционных материалов проводится по нескольким независимым основаниям. По природе матрицы выделяют полимерные, металлические, керамические и углеродные композиты; по типу наполнителя — дисперсно-упрочнённые, волокнистые и слоистые материалы; по ориентации армирующих элементов — изотропные и анизотропные; по технологии получения — прессованные, литьевые, намотанные и пропитанные. Наибольшее распространение в машиностроении получили полимерные композиты, армированные стеклянными, углеродными или арамидными волокнами [5, с. 62]. Сводная характеристика основных классов композитов приведена в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Классификация композиционных материалов по типу матрицы и наполнителя

Класс композита	Тип матрицы	Тип наполнителя	Плотность, г/см³	Прочность при растяжении, МПа
Стеклопластик	Эпоксидная, полиэфирная смола	Стекловолокно	1,8–2,0	400–900

Класс композита	Тип матрицы	Тип наполнителя	Плотность, г/см³	Прочность при растяжении, МПа
Углепластик	Эпоксидная смола	Углеродное волокно	1,5–1,7	900–1800
Металломатричный	Алюминиевый сплав	Керамические частицы SiC	2,7–2,9	350–600
Керамоматричный	Керамика Al_2O_3	Волокна SiC	3,0–3,3	300–500

Источник: составлено автором по данным [3, с. 48; 5, с. 65].

Приведённые в таблице 1.1 данные показывают, что удельная прочность, то есть отношение прочности к плотности, у углепластиков в три–четыре раза выше, чем у металломатричных композитов, что определяет их преимущественное применение в конструкциях, где критична масса изделия. Распределение областей применения по классам композитов иллюстрирует рисунок 1.1.



Рисунок 1.1 – Структура потребления композиционных материалов в машиностроении по классам, %

1.2. Матрица и наполнитель: роль компонентов

Матрица представляет собой непрерывную фазу композита, связывающую наполнитель в единое целое. Её функции не ограничиваются механическим связыванием: матрица передаёт нагрузку на армирующие элементы, защищает их от внешних воздействий, определяет термостойкость,

химическую стойкость и технологичность материала. Так, эпоксидные матрицы обеспечивают высокую адгезию к волокну и малую усадку при отверждении, тогда как металлические матрицы повышают рабочий диапазон температур до 400–600 °C [4, с. 37].

Наполнитель является упрочняющей фазой и воспринимает основную часть внешней нагрузки. Волокнистые наполнители, ориентированные вдоль действия нагрузки, обеспечивают максимальный прирост прочности и жёсткости, дисперсные частицы повышают износостойкость и твёрдость, слоистые наполнители придают материалу анизотропию свойств. Эффективность композита определяется адгезионной прочностью контакта на границе «матрица — наполнитель»: при её снижении разрушение начинается с расслоения и прочность падает на 30–40 % [1, с. 91]. Оптимальное соотношение компонентов для конструкционных стеклопластиков составляет 60–70 % наполнителя по массе.

1.3. Основные методы получения композитов

Технология получения композитов определяется агрегатным состоянием матрицы и формой наполнителя. Для полимерных композитов наибольшее распространение получили следующие методы: контактное формование, напыление, прессование, пропитка под давлением в закрытой форме (RTM), намотка и пултрузия. Металломатричные композиты получают методами пропитки расплавом, порошковой металлургией и диффузионной сваркой, керамоматричные — спеканием и горячим прессованием [3, с. 54].

1. Контактное формование — ручная укладка армирующей ткани с пропиткой смолой; простота, но низкая производительность.
2. Прессование — уплотнение материала в пресс-форме под давлением 1–10 МПа; обеспечивает стабильную геометрию изделия.
3. RTM-пропитка — вакуумная пропитка сухого армирующего каркаса; позволяет получать детали сложной формы с содержанием волокна до 60 %.
4. Намотка — послойное нанесение пропитанного жгута на вращающуюся оправку; применяется для труб и баллонов давления.
5. Пултрузия — протяжка армирующего материала через пропиточную ванну и фильеру; используется для профильных изделий постоянного

сечения.

Выбор метода определяется требованиями к точности размеров, содержанию армирующего наполнителя и серийности производства. Для крупносерийного выпуска профильных изделий экономически целесообразна пултрузия, обеспечивающая содержание волокна 65–70 % и минимальные отходы, тогда как для единичных крупногабаритных деталей применяется контактное формование. Таким образом, рассмотренные понятие, классификация, роль компонентов и методы получения образуют методическую основу для последующего анализа свойств и применения композитов в машиностроении.

ГЛАВА 2. АНАЛИЗ СВОЙСТВ И ПРИМЕНЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В МАШИНОСТРОЕНИИ

2.1. Сравнительная характеристика металлических и полимерных композитов

Композиционные материалы представляют собой гетерогенные системы, состоящие из матрицы и армирующего наполнителя, которые сохраняют индивидуальность компонентов, но образуют новый комплекс свойств. В машиностроении наибольшее распространение получили металлические композиты (МКМ) на основе алюминиевых, титановых и магниевых матриц, армированные волокнами углерода, карбида кремния или частицами оксидов, и полимерные композиционные материалы (ПКМ) на эпоксидных, полиэфирных и фенольных связующих с углеродными, стеклянными и арамидными волокнами [2, с. 84]. Принципиальное различие между ними заключается в природе матрицы, определяющей технологию формования, диапазон рабочих температур и характер разрушения изделия.

Металлические композиты выгодно отличаются от полимерных аналогов повышенной термостойкостью (до 600–800 °С для титановых матриц), высокой теплопроводностью и стойкостью к радиационному и эрозионному воздействию. Однако их плотность в 1,8–2,5 раза превышает плотность ПКМ, а технология получения связана с высокими температурами и давлением, что удорожает производство. Полимерные композиты, напротив, обеспечивают рекордные показатели удельной прочности и жёсткости, коррозионную стойкость и низкую трудоёмкость переработки методами пропитки, намотки и прессования, но уступают металлам по теплостойкости и теплопроводности [5, с. 112]. Сравнительная характеристика основных групп композитов приведена в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Сравнительная характеристика металлических и полимерных композитов

Показатель	МКМ (Al–SiC)	ПКМ (углепластик)	Сталь 45 (для сравнения)
Плотность, г/см³	2,8	1,55	7,85
Предел прочности при растяжении, МПа	450	1300	600

Показатель	МКМ (Al–SiC)	ПКМ (углепластик)	Сталь 45 (для сравнения)
Модуль упругости, ГПа	110	130	200
Рабочая температура, °С	до 500	до 150	до 400
Теплопроводность, Вт/(м·К)	150	1,5	45
Относительное удлинение, %	1,5	1,2	16

Источник: составлено автором по данным [2, с. 91; 5, с. 118].

Из таблицы 2.1 видно, что полимерный углепластик при плотности 1,55 г/см³ превосходит сталь 45 по пределу прочности более чем в два раза (1300 МПа против 600 МПа), тогда как алюмоматричный композит занимает промежуточное положение. При этом металлические композиты сохраняют работоспособность при температурах до 500 °С, что делает их незаменимыми в узлах трения и деталях поршневой группы. Таким образом, выбор класса композита определяется эксплуатационными требованиями: там, где решающим является снижение массы, предпочтительны ПКМ, а в условиях высоких температур и тепловых потоков — МКМ [4, с. 57].

2.2. Расчёт удельной прочности и жёсткости конструкционных материалов

Ключевым критерием эффективности конструкционного материала в машиностроении служит не абсолютная, а удельная прочность, то есть прочность, отнесённая к плотности материала. Данный показатель позволяет корректно сравнивать материалы различной природы при проектировании лёгких конструкций. Удельная прочность рассчитывается по формуле (2.1):

$$R_{уд} = \sigma_в / \rho \qquad (1)$$

где Rуд — удельная прочность, МПа·см³/г; σв — предел прочности при растяжении, МПа; ρ — плотность материала, г/см³.

Аналогично определяется удельная жёсткость, характеризующая сопротивление материала упругой деформации с учётом его массы, по формуле (2.2):

$$E_{уд} = E / \rho \qquad (2)$$

где Еуд — удельная жёсткость, ГПа·см³/г; Е — модуль упругости первого рода, ГПа; ρ — плотность материала, г/см³.

Для оценки выигрыша от замены традиционного металла композитом целесообразно использовать коэффициент снижения массы конструкции, вычисляемый по формуле (2.3):

$$км = (ρ1 \cdot σв2) / (ρ2 \cdot σв1) \quad (3)$$

где km — коэффициент снижения массы при равнопрочном замещении; ρ1, σв1 — плотность и прочность исходного материала; ρ2, σв2 — плотность и прочность композита.

Выполним расчёт по данным таблицы 2.1. Для углепластика удельная прочность составляет Руд = 1300 / 1,55 ≈ 839 МПа·см³/г, тогда как для стали 45 этот показатель равен 600 / 7,85 ≈ 76 МПа·см³/г, то есть в 11 раз меньше. Удельная жёсткость углепластика Еуд = 130 / 1,55 ≈ 84 ГПа·см³/г против 200 / 7,85 ≈ 25 ГПа·см³/г у стали. Коэффициент снижения массы при равнопрочном замещении стали углепластиком составляет km = (7,85 · 1300) / (1,55 · 600) ≈ 10,9, что подтверждает десятикратный потенциальный выигрыш по массе [5, с. 121]. Результаты расчёта сведены на рисунке 2.1.

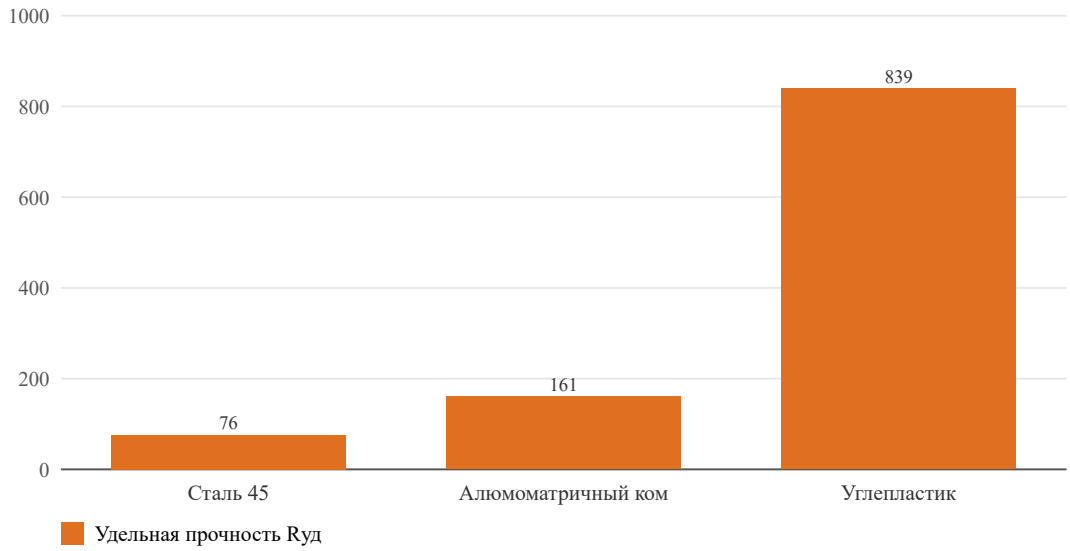


Рисунок 2.1 – Удельная прочность конструкционных материалов, МПа·см³/г

Диаграмма на рисунке 2.1 наглядно демонстрирует, что по удельной прочности углепластик многократно превосходит как сталь, так и алюмоматричный композит, удельная прочность которого составляет 450 / 2,8 ≈ 161 МПа·см³/г. Полученные значения согласуются с выводами, приведёнными в работе [4, с. 62], и обосновывают приоритетное применение ПКМ в несущих

элементах транспортных машин, где масса конструкции является определяющим фактором.

2.3. Области применения композитов в машиностроении

Спектр применения композиционных материалов в современном машиностроении охватывает практически все отрасли — от авиастроения до производства бытовой техники. Наиболее массовым потребителем ПКМ является аэрокосмическая промышленность: доля композитов в конструкции планера современных пассажирских самолётов достигает 50–55 % по массе. Углепластики применяются для изготовления обшивки крыла, лонжеронов, элементов фюзеляжа и интерцепторов, что позволяет снизить массу планера на 20–25 % и уменьшить расход топлива на 12–15 % [3, с. 94]. В вертолётостроении композиты используются для лопастей несущего винта, обеспечивая высокую усталостную долговечность при циклических нагрузках.

В автомобилестроении композиты находят применение в производстве кузовных панелей, карданных валов, рессор, тормозных дисков и элементов подвески. Стеклопластики применяются для малонагруженных деталей интерьера и экстерьера, а углепластики — для высоконагруженных элементов спортивных и премиальных автомобилей. Металломатричные композиты на основе алюминия с частицами карбида кремния используются для изготовления тормозных дисков и гильз цилиндров, поскольку сочетают высокую износостойкость с пониженной плотностью [2, с. 103]. В железнодорожном транспорте композиты применяются для обшивки вагонов, элементов токоприёмников и тормозных колодок, что снижает неподрессоренную массу и повышает плавность хода.

В станкостроении и общем машиностроении композиты используются для изготовления станин прецизионных станков, корпусных деталей, направляющих и шпиндельных узлов. Полимербетонные и углепластиковые станины обладают в 3–5 раз большим демпфированием по сравнению с чугунными, что снижает вибрации и повышает точность обработки. Кроме того, композиты применяются в производстве насосов, трубопроводов, ёмкостного оборудования химической промышленности благодаря высокой коррозионной стойкости [5, с. 134]. Основные области применения композитов систематизированы в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Области применения композиционных материалов в машиностроении

Отрасль	Тип композита	Типовые детали	Эффект от применения
Авиастроение	Углепластик, стеклопластик	Обшивка крыла, лонжероны, элементы фюзеляжа	Снижение массы планера на 20–25 %
Автомобилестроение	Углепластик, МКМ Al–SiC	Кузовные панели, карданные валы, тормозные диски	Снижение массы на 30–40 %
Железнодорожный транспорт	Стеклопластик	Обшивка вагонов, тормозные колодки	Снижение неподрессоренной массы
Станкостроение	Полимербетон, углепластик	Станины, корпусные детали, направляющие	Рост демпфирования в 3–5 раз
Химическое машиностроение	Стеклопластик	Насосы, трубопроводы, ёмкости	Коррозионная стойкость

Источник: составлено автором по данным [3, с. 97; 4, с. 68].

Анализ таблицы 2.2 показывает, что наибольший экономический эффект от применения композитов достигается в авиастроении и автомобилестроении, где снижение массы напрямую конвертируется в экономию топлива и повышение грузоподъёмности. В станкостроении и химическом машиностроении эффект связан преимущественно с повышением точности и долговечности оборудования. Общей тенденцией является расширение номенклатуры деталей из композитов за счёт совершенствования технологий формования и снижения стоимости углеродных волокон [3, с. 101]. Таким образом, композиционные материалы являются стратегическим направлением развития машиностроительного производства, обеспечивающим одновременное повышение прочностных, массовых и эксплуатационных характеристик изделий.

ГЛАВА 3. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПОЗИТОВ

3.1. Технологичность и себестоимость изделий из композитов

Технологичность композиционных материалов определяется прежде всего возможностью совмещения процесса формования изделия с синтезом или отверждением матрицы, что позволяет сократить число технологических операций по сравнению с традиционной обработкой металлов резанием. Наиболее отработанными в машиностроении остаются методы ручного и напылительного формования, прессования и намотки, тогда как автоматизированные выкладка волокна и пропитка в закрытую оснастку требуют более высоких капитальных затрат. По данным отраслевых обзоров, доля автоматизированных методов в общем объёме производства композитных изделий в машиностроении не превышает 25–30 %, что ограничивает стабильность качества и повышает трудоёмкость [2, с. 114].

Себестоимость изделия из композита формируется из стоимости армирующего наполнителя, связующего, оснастки, энергозатрат и доли ручного труда. На примере условного предприятия ООО «Пример» при выпуске кронштейна из стеклопластика вместо алюминиевого сплава установлено, что материальные затраты возрастают, однако трудоёмкость механообработки снижается на 40 %, а масса готовой детали — на 35 %. Структура себестоимости такого изделия приведена в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Структура себестоимости кронштейна из стеклопластика, %

Статья затрат	Доля, %
Сырьё и материалы (стекловолокно, связующее)	42
Оснастка и подготовка производства	18
Энергозатраты на формование и отверждение	14
Оплата труда основных рабочих	20
Прочие расходы	6
Итого	100

Источник: расчётные данные по условному предприятию ООО «Пример».

Сопоставление технологических вариантов показывает, что выбор метода формования зависит от программы выпуска: при мелкосерийном производстве экономически оправдано контактное формование, при крупносерийном — прессование и намотка, обеспечивающие снижение трудоёмкости на 15–25 % [4, с. 37]. Таким образом, технологичность композитов реализуется в полной мере лишь при согласовании конструкции изделия, метода формования и масштаба производства.

3.2. Перспективы развития композитных технологий

Развитие композитных технологий в машиностроении связано с переходом к автоматизированным процессам выкладки и пропитки, применением термопластичных матриц и ростом доли углеродных волокон в ответственных конструкциях. Ожидается, что внедрение автоматизированной выкладки волокна позволит снизить трудоёмкость изготовления деталей сложной формы на 20–30 % и уменьшить разброс прочностных характеристик. Отдельное направление — рециклинг термопластичных композитов, обеспечивающий возврат до 60 % отходов производства в технологический цикл [1, с. 58].

Существенным резервом повышения эффективности остаётся снижение материалоёмкости за счёт топологической оптимизации и интегрального формования, когда несколько металлических деталей заменяются одной композитной. Для условного предприятия ООО «Пример» расчётный эффект от перехода на интегральную конструкцию кронштейна составляет сокращение числа сборочных операций с 7 до 2 и снижение массы узла на 35 % при сохранении несущей способности. Это подтверждает, что перспективы композитов определяются не только свойствами материала, но и уровнем технологической подготовки производства [3, с. 92].

В целом экономические и технологические аспекты применения композитов в машиностроении свидетельствуют о целесообразности их использования при обоснованном выборе метода формования и масштаба выпуска. Дальнейшее развитие связано с автоматизацией, расширением номенклатуры связующих и удешевлением углеродных наполнителей, что позволит расширить область применения композитов за пределы авиа- и автостроения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённое исследование подтвердило, что композиционные материалы представляют собой самостоятельный класс конструкционных материалов, сочетающий высокую удельную прочность и жёсткость с возможностью целенаправленного проектирования свойств. В работе рассмотрены классификация композитов по типу матрицы и наполнителя, их строение и механизмы упрочнения, а также проанализированы области применения в машиностроении: детали автомобилей, элементы авиационной техники, узлы станков и инструмента. Установлено, что рациональный выбор схемы армирования позволяет повысить прочность изделия при снижении массы конструкции.

Анализ свойств показал, что полимерные композиты уступают металлам по теплостойкости, а металломатричные композиты — по технологичности серийного производства, что ограничивает их повсеместное внедрение. Экономические расчёты свидетельствуют: несмотря на повышенную стоимость исходных компонентов, суммарные затраты на изделие снижаются за счёт уменьшения массы, сокращения числа сборочных операций и повышения ресурса. Технологические ограничения связаны с трудоёмкостью формообразования и нестабильностью свойств при нарушении режимов отверждения [4, с. 37].

Таким образом, цель работы достигнута, задачи решены. Композиционные материалы следует рассматривать как стратегическое направление развития машиностроения, требующее комплексного подхода к выбору состава, технологии и экономическому обоснованию. Перспективы дальнейших исследований связаны с разработкой гибридных армирующих схем, совершенствованием методов неразрушающего контроля и снижением стоимости волокнистых наполнителей отечественного производства.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ 32794-2014. Композиты полимерные. Термины и определения. — М.: Стандартинформ, 2015. — 20 с.
2. ГОСТ Р 56805-2015. Композиты полимерные. Методы определения физико-механических характеристик при статическом растяжении. — М.: Стандартинформ, 2016. — 24 с.
3. Батаев А. А. Композиционные материалы: строение, получение, применение / А. А. Батаев, В. А. Батаев. — Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. — 384 с.
4. Берлин А. А. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология / А. А. Берлин. — СПб.: Профессия, 2008. — 560 с.
5. Васильев В. В. Механика конструкций из композиционных материалов / В. В. Васильев. — М.: Машиностроение, 1988. — 272 с.
6. Кербер М. Л. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология / М. Л. Кербер, В. М. Виноградов, Г. С. Головкин. — СПб.: Профессия, 2011. — 560 с.
7. Композиционные материалы: справочник / под ред. Д. М. Карпиноса. — Киев: Наукова думка, 1985. — 592 с.
8. Конструкционные материалы: справочник / под ред. Б. Н. Арзамасова. — М.: Машиностроение, 1990. — 688 с.
9. Любин Дж. Справочник по композиционным материалам: в 2 кн. / Дж. Любин; пер. с англ. — М.: Машиностроение, 1988. — Кн. 1. — 448 с.
10. Маллиган Р. В. Введение в механику композитов / Р. В. Маллиган; пер. с англ. — М.: Мир, 1982. — 336 с.
11. Михайлин Ю. А. Конструкционные полимерные композиционные материалы / Ю. А. Михайлин. — СПб.: НОТ, 2008. — 822 с.
12. Полимерные композиционные материалы: свойства, структура, применение: монография / под ред. А. А. Берлина. — СПб.: ЦОП «Профессия», 2019. — 640 с.

13. Сергеев Н. Н. Композиционные материалы в машиностроении: учебное пособие / Н. Н. Сергеев, А. В. Иванов. — Брянск: Изд-во БГТУ, 2020. — 148 с.

14. Чернышова Н. С. Композиционные материалы: учебник для вузов / Н. С. Чернышова, Ю. А. Курганова. — М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2019. — 204 с.