

## Impact Factor:

ISRA (India) = 4.971  
ISI (Dubai, UAE) = 0.829  
GIF (Australia) = 0.564  
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912  
ПИИИ (Russia) = 0.126  
ESJI (KZ) = 8.997  
SJIF (Morocco) = 5.667

ICV (Poland) = 6.630  
PIF (India) = 1.940  
IBI (India) = 4.260  
OAJI (USA) = 0.350

SOI: [1.1/TAS](#) DOI: [10.15863/TAS](#)

### International Scientific Journal Theoretical & Applied Science

p-ISSN: 2308-4944 (print) e-ISSN: 2409-0085 (online)

Year: 2020 Issue: 06 Volume: 86

Published: 30.06.2020 <http://T-Science.org>

QR – Issue



QR – Article



**Nurmukhammad Yangibayevich Makhkamov**  
Military Technical Institute  
National Guard of the Republic of Uzbekistan,  
PhD of Technical Sciences, Associate Professor  
[elevensevenone@gmail.com](mailto:elevensevenone@gmail.com)

**Giyas Usmanovich Yusupov**  
Tashkent Institute of Irrigation and  
Agricultural Mechanization Engineers  
PhD of Geology and Mineralogy sciences,  
Associate Professor

## PROPERTIES OF METAL-BASED AND NONMETAL-BASED COMPOSITE MATERIALS

**Abstract:** *The article outlines one of the pressing problems - the need to develop new structural materials such as composite ones. The purpose of this paper is to develop in an accessible and compact form the basic concept, properties of composite materials, the spheres of applications of structures made of composites.*

*At present, the prospects for the progress of structural materials are mainly associated with the development and widespread use of composite materials. The aim to improve the existing designs, to create new materials opens up the opportunities for the implementation of new design solutions and technologies.*

*Heterophase systems are the systems representing composite materials obtained from two or more components while maintaining the individuality of each component.*

*Composite structural materials are characterized by the following features:*

*predefined compositions and components of the material;*

*in the composition of the material, the components are present in a certain amount which provide the specified properties;*

*on an inhomogeneous microscale and a homogeneous macroscale, the materials are homogeneous.*

*Basically, the components of composite materials differ in geometrical feature. Components with continuity over the entire volume of the composite is called a matrix. The reinforcing component separated in the volume of the composition has a discontinuous feature. Matrix materials can be metals and their alloys, organic and inorganic polymers. With continuous features, the reinforcing components are the finely dispersed powder particles or fibrous materials found in nature. [5]*

*Two types of structural materials are considered in the article: composite materials on a metal basis and composites on a non-metal basis. Technical-technological, physical, technological, mechanical and chemical characteristics and properties of composites are given. Based on the analysis, the properties of unidirectional composite materials on a metal and non-metal basis are revealed. As a result of the experiments, the fields of application of composite materials on a metal and non-metal basis were determined.*

**Key words:** *component, macroscale, microscale, matrix, reinforcing filler, zero-dimensional, isotropy, adhesion, whiskerization, carbon fiber.*

**Language:** *Russian*

**Citation:** *Makhkamov, N. Y., & Yusupov, G. U. (2020). Properties of metal-based and nonmetal-based composite materials. ISJ Theoretical & Applied Science, 06 (86), 629-634.*

**Soi:** <http://s-o-i.org/1.1/TAS-06-86-115> **Doi:**  <https://dx.doi.org/10.15863/TAS.2020.06.86.115>

**Scopus ASCC:** 2200.

## Impact Factor:

ISRA (India) = 4.971	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 0.829	РИИЦ (Russia) = 0.126	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 8.997	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 5.667	OAJI (USA) = 0.350

## СВОЙСТВА КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ И НЕМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ОСНОВЕ

**Аннотация:** В статье изложены одним из актуальных проблем в необходимости разработки новых конструкционных материалов таких как композитных материалов. Целью настоящей научной статье является в разработке доступной и компактной форме основные понятия, свойства композитных материалов, области применения и их конструкций.

В настоящее время перспективы прогресса конструкционных материалов, в основном, связываются с разработкой и массовым применением композиционных материалов. Стремления к совершенствованию существующих конструкций, новые материалы, в свою очередь, открывают возможности для реализации новых конструктивных решений и технологий.

Гетерофазные системы представляющие композитные материалы, полученные на двух или более компонентов с сохранением индивидуальности каждого компонента.

Композиционные конструкционные материалы характеризуется следующими признаками:

заранее определенными составами и компонентами материала;

в составе материала компоненты присутствуют в определенном количестве и обеспечивают заданные свойства;

в неоднородном микромасштабе и однородном макромасштабе материалы являются однородным.

В основном компоненты композиционных материалов различны по геометрическому признаку. Компоненты обладающие непрерывностью по всему объему композита называется матрицей. Усиливающий или армирующий разделенный в объеме композиции компонент обладает прерывный признак. Материалами матрицы могут быть металлы и их сплавы, органические и неорганические полимеры. С прерывными признаками усиливающими или армирующими компонентами являются тонкодисперсные порошкообразные частицы или волоконистые материалы природы /5/.

В статье рассмотрены два вида конструкционных материалов, такие как, композитные материалы на металлической основе и композиты на неметаллической основе. Даны технико-технологические, физические, технологические, механические и химические характеристики и свойства композитов. На основе анализа выявлено свойства однонаправленных композиционных материалов на металлической и на неметаллической основе. В результате опытов определено области применения композитных материалов на металлической и на неметаллической основе.

**Ключевые слова:** компонент, макромасштаб, микромасштаб, матрица, армирующий наполнитель, нульмерные, изотропность, адгезия, вискеризация, карбоволокниты.

### Введение

UDC 669.018-419.8(035)

Композиционные материалы обладают комплексом свойств и особенностей, отличающихся от традиционных конструкционных материалов – металлических сплавов и в совокупности открывающих возможности, как для совершенствования существующих конструкций, так и для разработки новых конструкций. Материалы имеющие в составе входящие сильно отличающиеся по свойствам нерастворимые или малорастворимые в материале явными границами называются композиционными материалами. Композиционные материалы – эти материалы, представляющие собой твёрдое вещество, состоящее из матрица и различные внутри матрицы наполнителей армируют её.

Композиционные материалы обладают комплексом свойств, отличающихся, от традиционных конструкционных материалов с металлическими сплавами, и открывает новые возможности, как для усовершенствования разнообразных конструкций, так и для разработки

новых технологий по развитию прочности конструкционных материалов. Реализация широких потенциалов композиционных материалов заложенных в свойствах его компонентов зависит от уровня знания конструктора о принципах конструкции и методах расчета. Кроме этого, литература по композитным материалам направлено на научные работы, а не на инженеров по проектированию и изготовлению конструкций из композита.

Основные понятия и свойства композитов. Композиционный материал обладает свойствами, которыми не может обладать ни один из компонентов в отдельности, но и только при этом условии есть необходимость их применения.

Композиционные материалы подразделяются на две группы : естественные и искусственные. Естественным композиционным материалам относятся стволы и стебли растений (волокна целлюлозы соединены пластичным лигнином), кости человека и животных (тонкие прочные нити фосфатных солей соединены пластичным коллагеном), а также эвтектические сплавы [2].

К основам матрицы композиционных материалов могут служить металлы или сплавы

## Impact Factor:

ISRA (India) = 4.971  
ISI (Dubai, UAE) = 0.829  
GIF (Australia) = 0.564  
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912  
ПИИЦ (Russia) = 0.126  
ESJI (KZ) = 8.997  
SJIF (Morocco) = 5.667

ICV (Poland) = 6.630  
PIF (India) = 1.940  
IBI (India) = 4.260  
OAJI (USA) = 0.350

(композиционные материалы на металлической основе), а также полимеры, углеродные и керамические материалы (композиционные материалы на неметаллической основе).

В составе композиционного материала матрица придает форму и создает монолитный материал. Армирующий наполнитель, соединяя, в одно целое матрица, участвует в обеспечении несущей способности композита. Армирующий наполнитель передаёт напряжения на волокна и позволяет воспринимать различные внешние нагрузки: растяжение, сжатие, изгиб, удар. Матрица предохраняет наполнитель от механических повреждений и окисления. Рабочая температура деталей из композиционного материала повышается при переходе от полимерной матрицы к металлической, а далее - к углеродной и керамической.

В матрице равномерно распределены остальные компоненты (наполнители). Основную роль в упрочнении композитных материалах играют наполнители, их часто называют упрочнителями.

Основная функция наполнителя – обеспечить прочность и жёсткость композиционного материала. Частицы наполнителя должны иметь высокую прочность во всём интервале температур, малую плотность, быть нерастворимыми в матрице и нетоксичными. Армирующими веществами в композиционном материале являются оксиды, карбиды (обычно – карбид кремния SiC), нитрид кремния (Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>), стеклянные или углеродные нити, волокна бора (бороволокна), стальная или вольфрамовая проволока [4].

Форме наполнителя подразделяются на три группы: нульмерные, одномерные, двумерные.

Наполнители, имеющие в трёх измерениях очень малые размеры одного порядка (частицы) называются нульмерными наполнителями. Наполнители, имеющие малые размеры в двух направлениях и значительно превосходящий их размер в третьем измерении (волокна) называются одномерными. У двумерных наполнителей два размера соизмеримы с размером композиционного материала и значительно превосходят третий (пластины, ткань).

Композиционного материала в зависимости от формы наполнителя подразделяют на дисперсно-упрочнённые, слоистые и волокнистые.

Композиционный материал с дисперсно-упрочнённым наполнителем называют, упрочнённый нульмерными наполнителями, волокнистые - упрочнённые одномерными или одномерными и двумерными наполнителями; слоистые – упрочнённые двумерными наполнителями.

Композитные материалы на металлической основе. Композитные материалы металлической основой по сравнению с другими основами имеют следующие преимущества:

механические свойства – высокие значения характеристик, зависящих от свойств матрицы (предела прочности и модуля упругости в направлении, перпендикулярном оси армирующих волокон); высокая пластичность, вязкость разрушения; сохранение прочностных характеристик до температур плавления основного металла;

физические свойства – высокая тепло- и электропроводность;

химические свойства – негорючесть (по сравнению с композитами на полимерной основе);

технологические свойства – высокая деформируемость, обрабатываемость.

Перспективными материалами для матриц металлических композитных материалов являются металлы, обладающие небольшой плотностью Al, Mg, Ti, и сплавы на их основе, а также Ni – широко используемый в настоящее время в качестве основного компонента жаропрочных сплавов.

Порошковые композитные материалы на металлической основе наполнителями служат дисперсные частицы тугоплавких фаз – оксидов Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub> и карбидов. Отличительная особенность порошковых КМ, как было указано, состоит в изотропности механических и физических свойств [5].

Примером порошкового композитного материала на металлической основе является материал спечённая алюминиевая пудра, состоящий из смеси порошков алюминия и оксида алюминия (6-22%). В настоящее время в двигателестроении из спечённого алюминиевого пудра изготавливают детали: поршни, шатуны, тарелки клапанных пружин. Спечённая алюминиевая пудра имеет высокую технологичность при деформации, сварке, резании; отличается высокой коррозионной стойкостью и жаропрочностью. В отличие от жаропрочных алюминиевых сплавов они работают при температурах до 500° С, а не до 300° С.

В газотурбинных двигателях детали – дисков, лопаток, роторов – применяют порошковые сплавы типа высокотемпературные дисперсно-упрочнённые, представляющие собой смесь порошков никель-хромового сплава и оксидов гафния (HfO<sub>2</sub>) или тория (ThO<sub>2</sub>) [4].

В композиционных материалах волокнистого типа упрочнителями служат волокна и нитевидные кристаллы чистых элементов или тугоплавких соединений B, C, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiC, проволоки. Упрочнительные волокна могут быть непрерывными или дискретными.

## Impact Factor:

ISRA (India) = 4.971  
ISI (Dubai, UAE) = 0.829  
GIF (Australia) = 0.564  
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912  
ПИИЦ (Russia) = 0.126  
ESJI (KZ) = 8.997  
SJIF (Morocco) = 5.667

ICV (Poland) = 6.630  
PIF (India) = 1.940  
IBI (India) = 4.260  
OAJI (USA) = 0.350

Объёмная доля колеблется от нескольких единиц до 80...90 %. Свойства волокнистых композиционных материалов зависят от схемы армирования [1].

Принципиальное значение для конструктивной прочности чугунов имеет необходимость предотвращать образование феррита в дендритных ветвях, предупреждая катастрофическое разупрочнение литых деталей.

В чугунах существуют объективные термодинамические ограничения на использование упрочняющего легирования. При других равных условиях мала легированный чугун с меньшим содержанием Si, Mn, Cr будут иметь более однородную перлитную структуру, в

том числе и в дендритных ветвях, и, как следствие, лучшие прочностные свойства.

Свойства некоторых волокнистых композиционных материалов с металлической матрицей приведены в таблице 1. Для примера даны свойства чистого алюминия и самого прочного легированного сплава В95. Сплав В95 упрочняется при старении и имеет предел прочности 600 МПа, и предел выносливости – 155 МПа. Создание композиционного материала – введение в алюминий волокон бора – повышает предел прочности почти на порядок по сравнению с алюминием и вдвое по сравнению со сплавом В95; при этом втрое возрастает модуль упругости и вчетверо – предел выносливости [3].

Таблица 1. Свойства однонаправленных композиционных материалов на металлической основе

Марка	Состав	Плотность $\rho$ , т/м <sup>3</sup>	Модуль упругости $E$ , ГПа	Предел прочности $\sigma$ , МПа	Предел выносливости $\sigma$ -1 МПа	$\sigma$ / $\rho$ , км
			(растяжение)			
Al	Холодно-катанный	2,70	71	150	–	–
В95	Сплав Al, Mg, Zn	2,72	–	600	55	22
ВКА	Al–В	2,65	240	1200	600	45
ВКУ	Al–С	2,25	270	950	200	44
КАС	Al–стальная проволока	4,80	120	1600	350	33

В композиционных материалах в качестве наполнителя используют стальную проволоку, диаметр которой больше, чем диаметр волокон бора или углерода, при этом снижается модуль упругости, однако этот материал имеет самый высокий предел прочности и отличается значительно более высокой удельной прочностью благодаря малой плотности. Характерной чертой является, что во всех композитных материалов характерен высокий предел выносливости, свидетельствующий об их противостоянии циклическим нагрузкам.

В композиционных материалах прочность в большой степени зависит от прочности сцепления волокон с матрицей. Между матрицей и наполнителем в композиционном материале возможны различные типы связи [1].

1. Механическая связь, возникающая благодаря зацеплению неровностей поверхностей матрицы и наполнителя, а также действию трения между ними. Композиционный материал с механическим типом связи, например, Cu – W, имеют низкую прочность при поперечном растяжении и продольном сжатии.

2. Связь, обеспечиваемая силами поверхностного натяжения при пропитке волокон жидкой матрицей вследствие смачивания и небольшого растворения компонентов, например, Mg – В до 400° С.

3. Возникновение реакционной связи - это явление химическим взаимодействием компонентов (Ti и В) на границе раздела, в результате чего образуются новые химические соединения (TiB<sub>2</sub>).

4. Связь, возникающая при протекании двух и более стадийных химических реакций - обменно-реакционная. Например, алюминий из твёрдого раствора матрицы титанового сплава образует с борным волокном AlB<sub>2</sub>, который затем вступает в реакцию с титаном, образуя TiB<sub>2</sub> и твёрдый раствор алюминия.

5. Связь, возникающая на границе раздела металлической матрицы и оксидного наполнителя (Ni – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) – оксидная, благодаря образованию сложных оксидов типа шпинели и др.

6. Связь, реализуемая при разрушении оксидных плёнок и возникновении химического и диффузионного взаимодействий компонентов (Al – В, Al – сталь) - смешанная.

Связь между волокном и матрицей для металлических композитных материалов осуществляется благодаря их взаимодействию и образованию очень тонкого слоя (1 – 2 мкм) интерметаллидных фаз [4].

С помощью адгезии осуществляется связь между компонентами и композитным материалом на неметаллической основе. Не нужной адгезией к матрице обладают высокопрочные борные, углеродные, керамические волокна.



## Impact Factor:

ISRA (India) = 4.971  
ISI (Dubai, UAE) = 0.829  
GIF (Australia) = 0.564  
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912  
ПИИЦ (Russia) = 0.126  
ESJI (KZ) = 8.997  
SJIF (Morocco) = 5.667

ICV (Poland) = 6.630  
PIF (India) = 1.940  
IBI (India) = 4.260  
OAJI (USA) = 0.350

Вискеризация - улучшение сцепления достигаемой травлением, поверхностной обработкой волокон. Вискеризация - это выращивание монокристаллов карбида кремния на поверхности углеродных, борных и других перпендикулярно их длине. Таким образом, полученные «мохнатые» волокна бора называют «борсик». Выращивание монокристаллов способствует повышению сдвиговых характеристик, модуля упругости и прочности при сжатии без снижения свойств вдоль оси волокна. Например, увеличения объёмного содержания нитевидных кристаллов до 4 – 8 % повышает сдвиговую прочность в 1,5 – 2 раза, модуль упругости и прочность при сжатии на 40 – 50 % [5].

Таким образом, металлические волокна, проволоки являются наиболее экономичными армирующими материалами. Для конструкционных композитных материалов, используемых при низких температурах, используют стальных и бериллиевые проволочные волокна, а для композитов эксплуатируемых высоких температурах, - вольфрамовые и молибденовые.

Композиты на неметаллической основе. В композитных материалах матрицей служат термореактивные пластмассы – эпоксидные, фенолформальдегидные смолы, полиамиды и другие. Основную часть композитных материалов на неметаллической основе составляют волокнистые материалы. В характеристиках наполнителя название композитных материалов на неметаллической основе обычно включает:

карбоволокниты, бороволокниты, стекловолокниты, органоволокниты. Эти композиты на неметаллической основе (полимеры) имеют следующие преимущества по сравнению с металлическими сплавами и композитами на металлической основе [1]:

а) механические свойства - высокая удельная прочность (1,2 ... 2,2 по сравнению с 2,25...4,8 для композитов на металлической основе); высокая усталостная прочность; хорошие антифрикционные и амортизационные свойства;

б) химические свойства - высокая химическая стойкость;

в) технологические свойства – хорошая обрабатываемость;

г) экономические свойства – дешёвые исходные материалы.

Основными недостатками КМ на полимерной основе являются: резкая потеря прочности при температурах выше 100...200 С, горючесть, отсутствие способности к сварке.

Первоначальными композитными материалы на полимерной основе являются стеловолокниты. Стекловолокониты по удельной прочности превосходят легированные стали, сплавы алюминия, магния, титана. В двигателях внутреннего сгорания на ряде зарубежных автомобильных фирм из стекловолоконитов изготавливают разнообразные детали: детали топливно-подающей системы (фирма Zeta), крыльчатки вентиляторов систем охлаждения, расширительные бачки радиаторов (Ford), головки цилиндров, бензиновые баки (BMV, Du Pont) [3].

Таблица 2. Свойства однонаправленных композитных материалов на неметаллической основе

Марка	Состав	Плотность $\rho$ , т/м <sup>3</sup>	Модуль упругости	Предел прочности	Предел выносливости $\sigma_{-1}$ , МПа	$\sigma_r$ , 0,0,, км
			Е, ГПа	св, МПа		
КМУ	Карбоволокнит	1,40	20	650-1000	300-500	53
КМБ	Бороволокнит	2,1	210-260	900-1300	300-500	55
КМО	Органоволокнит	1,25	35	650-700	100	58
КМС	Стекловолоконит	2,2	70	100	–	96

Полимерная матрица в карбоволокнитах при  $\rho = 1,4...1,55$  т/м<sup>3</sup> армирована углеродными волокнами, а в бороволокнитах – бором. Такие композитные материалы в двух типах отличаются высоким модулем упругости, высокой прочностью и выносливостью. Один из них бороволокниты отличаются высокой усталостной прочностью, специфическими химическими свойствами: стойкостью к проникновению воды, органических растворителей, радиации, горюче смазочных материалов. Полимерная матрица с бороволокнитами применяют в авиационной и космической технике для изготовления роторов,

лопаток компрессоров, лопастей винтов, трансмиссионных валов вертолётов [1].

Полимерная матрица с карбоволокнитами отличаются высокой стойкостью к динамическим нагрузкам. Карбоволокниты применяют для тепловой защиты дисков авиационных тормозов, а также как химически стойкий материал для химической аппаратуры.

В органоволокнитах в качестве наполнителя применяют синтетические волокна (капрон, лавсан, виол, полиамид) имеющие преимущество для снижения плотности композита до 1,15...1,5 т/м<sup>3</sup>, при этом также существенно снижают

## Impact Factor:

ISRA (India) = 4.971  
ISI (Dubai, UAE) = 0.829  
GIF (Australia) = 0.564  
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912  
РИИЦ (Russia) = 0.126  
ESJI (KZ) = 8.997  
SJIF (Morocco) = 5.667

ICV (Poland) = 6.630  
PIF (India) = 1.940  
IBI (India) = 4.260  
OAJI (USA) = 0.350

предел выносливости и модуль упругости. Кроме этого, эти композитные материалы отличаются стабильностью механических свойств при резком перепаде температур, действии ударных и циклических нагрузок; высокой химической стойкостью и диэлектрическими свойствами. Этим композитов применяют в качестве изоляционного и конструктивного материалов в электрорадиопромышленности, авиа - и автостроении.

### Выводы

1. В настоящее время и в перспективу прогресса конструкционных материалов, связана с разработкой и массовым применением конструкционных композиционных материалов.

2. Различают композиционные материалы естественные и искусственные. Естественные -

это волокна целлюлозы соединены пластичным лигнином, тонкие прочные нити фосфатных солей соединены пластичным коллагеном, а также эвтектические сплавы.

3. Конструкционные композитные материалы, используемые при низких температурах, применяются стальные и бериллиевые проволочные волокна, а для композитов эксплуатируемых высоких температурах, - вольфрамовые и молибденовые.

4. Знание закономерностей, определяющих в материале наличие физических, механических, химических, технологических свойств позволяет рационально использовать существующие и создавать новые композитные материалы.

5. Разработка и массовая эксплуатация новых композитных материалов находится в стадии развития и становления.

## References:

1. Arzamasov, B.N., et al. (2001). *Material science*. (p.413). Moscow. Publishing House MSTU named after N.E.Bauman.
2. Makhkamov, N.Y. (2018). *Material science*. (p.318). Tashkent. MTI NG RUz.
3. Vasiliev, V.V., et al. (1990). *Composite materials: Reference book*. (p.512).M.: Mechanical Engineering, 1990.
4. Suzdalev, I.P. (2006). *Physics-chemistry of nanoclusters, nanostructures and nanomaterials*. (p. 592). Moscow.
5. Gusev, A.I. (2007). *Nanomaterials, nanostructures, nanotechnologies*. (p.416). Moscow: Fizmatlit.