

М.И. Баранов

АНТОЛОГИЯ ВЫДАЮЩИХСЯ ДОСТИЖЕНИЙ В НАУКЕ И ТЕХНИКЕ. ЧАСТЬ 41: КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ: ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ, ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ, СВОЙСТВА И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ В СОВРЕМЕННОЙ ТЕХНИКЕ

Наведено науково-технічний огляд про стан, досягнення і перспективи розвитку робіт вітчизняних і зарубіжних вчених-матеріалознавців в галузі розробки і створення композиційних матеріалів, що володіють в порівнянні з традиційними однорідними матеріалами суттєво вищими фізико-механічними характеристиками. Описані основні класифікації, технології отримання, властивості і галузі застосування подібних матеріалів-композитів в техніці. Бібл. 22, рис. 6.

Ключові слова: композиційні матеріали, основні технології отримання композитів, переваги композитів перед традиційними матеріалами, світові досягнення в створенні композитів.

Приведен научно-технический обзор о состоянии, достижениях и перспективах развития работ отечественных и зарубежных ученых-материаловедов в области разработки и создания композиционных материалов, обладающих по сравнению с традиционными однородными материалами существенно более высокими физико-механическими характеристиками. Описаны основные классификации, технологии получения, свойства и области применения подобных материалов-композитов в технике. Библ. 22, рис. 6.

Ключевые слова: композиционные материалы, основные технологии получения композитов, преимущества композитов перед традиционными материалами, мировые достижения в создании композитов.

Введение. Дальнейшее прогрессивное развитие в мире современной техники в машиностроительной, электротехнической, электроэнергетической, приборостроительной, авиа- и ракетостроительной отраслях промышленности требует создания многообразных новых материалов с их все более высокими эксплуатационными свойствами. Ученые и специалисты из многих стран мира, занимающиеся в области материаловедения исследованием поведения и экспериментальным установлением физико-технических характеристик различных металлов и сплавов, достаточно давно пришли к заключению о том, что создание неоднородных твердых композиций при правильном выборе их исходных компонентов может приводить к получению новых материалов с их существенно улучшенными по сравнению с известными однородными материалами механическими характеристиками. Подобные материалы в материаловедении получили название композиционных. Согласно современным представлениям *композиционный материал* (КМ) – это искусственно созданный неоднородный сплошной материал, состоящий из двух или более компонентов с четкой границей раздела между ними [1]. Одним из «древнейших» и поныне используемым во всем мире КМ является «булат», содержащий тончайшие слои (иногда нити) высокоуглеродистой стали, которые «склеены» (соединены) между собой мягким низкоуглеродистым железом [1]. После того, как в металловедении и физике металлов были научно объяснены причины их пластичности, упругости и прочности, а также достоверно установлены основные физико-химические пути заметного увеличения (усиления) показателей этих физических свойств [2], в ведущих материаловедческих лабораториях мира начались интенсивные системные разработки новых неметаллических материалов с их значительно повышенными физико-механическими характеристиками. В последние десятилетия материаловеды промышленно развитых стран мира активно занимаются на-

учно-техническим поиском новых КМ, целенаправленным созданием наиболее перспективных по своим физико-механическим свойствам для ряда бурно развивающихся областей современной техники и сравнительно дешевых в производстве КМ (композитов).

Целью статьи является составление краткого научно-технического обзора о состоянии, достижениях и перспективах развития в мире работ материаловедов в области разработки и изготовления композитов.

1. Классификация композитов. В большинстве КМ, являющихся, как правило, многокомпонентными материалами, используемые в них компоненты (составные части) можно разделить на матрицу (непрерывную по всему объему КМ пластичную основу) и включенные в нее армирующие элементы (прерывистые по объему КМ упрочнители-наполнители), которые обладают высокой прочностью, жесткостью, термостойкостью и другими физическими свойствами [1-3]. Заметим, что матрица КМ обеспечивает монолитность создаваемого материала, придает требуемую форму создаваемому изделию, осуществляет передачу механического напряжения от одной части среды наполнителя к другой, защищает арматуру-упрочнитель от механического повреждения и обеспечивает механическую и иную стойкость КМ в целом к различным внешним силовым воздействиям. Специалисты (материаловеды и технологи), варьируя составами матриц и наполнителей, их процентным соотношением и пространственной ориентацией арматуры-наполнителя в объеме КМ, в настоящее время могут получать весьма широкий спектр КМ с требуемым набором их свойств [1-3]. В этой связи все композиты по виду применяемой в КМ матрицы сейчас классифицируются на [1]:

- композиты с полимерной матрицей;
- композиты с металлической матрицей;
- композиты с керамической матрицей;
- композиты с системой типа «оксид-оксид».

© М.И. Баранов

По виду используемого в КМ наполнителя (армирующей компоненты) существующие и вновь создаваемые композиты классифицируются на [1]:

- композиты волокнистые (армирующие компоненты – волокнистые структуры из не- и металлов);
- композиты слоистые (армирующие компоненты – отдельные слоистые структуры, рис. 1);
- композиты типа «наполненные пластики» (армирующие компоненты – нано- и микрочастицы);
- композиты насыпные, имеющие гомогенные диспергированные не- и металлические структуры;
- композиты скелетные, в которых исходные структуры наполнены связующим материалом.

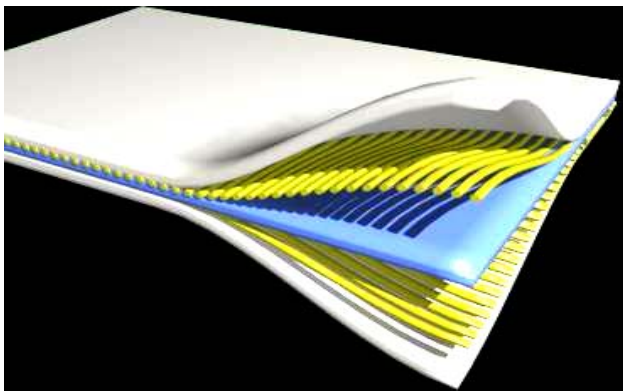


Рис. 1. Схема расположения отдельных слоев в КМ [1]

По типу упрочнителя-наполнителя волокнистые КМ классифицируются на следующие группы [2]:

- стекловолкнисты со стеклянными волокнами;
- карбоволкнисты с углеродными волокнами;
- борволкнисты с борными волокнами;
- органоволкнисты с синтетическими нитями.

Кроме того, КМ по геометрии входящего в их состав армирующего элемента-наполнителя подразделяются на следующие основные группы [4, 5]:

- с нульмерными наполнителями (упрочнителями структуры), размеры которых в трех пространственных измерениях имеют один и тот же порядок;
- с одномерными наполнителями, один из размеров которых значительно превышает два других;
- с двумерными наполнителями, два любых размера которых значительно превышают третий.

По схеме расположения армирующего элемента-наполнителя КМ подразделяются на такие группы [4]:

- с одноосным (линейным) расположением упрочнителя-наполнителя в матрице в виде параллельных волокон, нитей и нитевидных монокристаллов;
- с двухосным (плоскостным) расположением армирующего упрочнителя-наполнителя, матов из нитевидных монокристаллов и металлических фольг в матрице с параллельным размещением их плоскостей;
- с трехосным (объемным) расположением армирующего упрочнителя-наполнителя и отсутствием преимущественного направления в его расположении.

По физической природе своих компонентов КМ подразделяются на следующие большие группы [4, 5]:

- композиты, содержащие в своем составе компоненты из различных металлов или сплавов;

- композиты, содержащие внутри себя компоненты из различных неорганических соединений (например, оксидов, карбидов, нитридов и др.);

- композиты, содержащие компоненты из неметаллических элементов (включая углерод, бор и др.);

- композиты, содержащие компоненты из органических соединений (например, эпоксидные, полиэфирные, фенольные смолы и иные химсоединения).

Как видим, КМ имеют достаточно обширную классификацию. В дальнейшем более подробно остановимся на некоторых из перечисленных композитов.

2. Основные технологии получения композитов. Рассмотрим ряд композитов, приведенных выше.

2.1. Волокнистые композиты. Механические характеристики таких КМ определяются свойствами используемых в их составе большого числа параллельных непрерывных волокон. В каждом слое КМ волокна могут быть при этом сотканы в ткань, которая представляет собой исходную форму, размеры которой соответствуют геометрическим параметрам конечного материала [1-5]. Матрица такого композита должна перераспределять механические напряжения между армирующими волокнами. Поэтому прочность и модуль упругости применяемых в таком композите волокон должны быть значительно больше, чем прочность и модуль упругости матрицы. Жесткие армирующие волокна воспринимают механические напряжения, возникающие в композите при его силовом нагружении, а также придают ей прочность и жесткость в направлении ориентации волокон. Например, для упрочнения алюминия, магния и их сплавов в этом случае применяют борные волокна, а также волокна из тугоплавких соединений (например, карбидов, нитридов, боридов и оксидов), имеющих высокие прочность и модуль упругости. Нередко используют в качестве волокон проволоку из высокопрочных сталей [1-5]. Для рассматриваемых КМ при армировании титана и его сплавов применяют молибденовую проволоку, волокна сапфира, карбида кремния и бориды титана. Повышение жаропрочности никелевых сплавов достигается армированием их вольфрамовой или молибденовой проволокой [1-5]. Металлические волокна используют и в тех случаях, когда для создаваемого композита требуются высокие показатели теплопроводности и электропроводности. Перспективными упрочнителями-наполнителями для высокопрочных и высокомодульных волокнистых КМ являются нитевидные кристаллы из оксида и нитрида алюминия, карбида и нитрида кремния, карбида бора и др. [1-5]. Композиты на металлической основе обладают высокой прочностью и жаропрочностью. В то же время они мало пластичны. Однако армирующие волокна в КМ уменьшают скорость распространения по нему (композиту) трещин, зарождающихся в матрице. Это практически полностью исключает внезапное хрупкое разрушение КМ. Отличительной особенностью волокнистых одноосных КМ являются их анизотропия механических свойств вдоль и поперек волокон и малая чувствительность к концентраторам механического напряжения. Анизотропия свойств *волокнистых композитов* учитывается при конструировании из них деталей машин (аппаратов) для опти-

мизации свойств КМ путем согласования поля сопротивления с полями механических напряжений в нем. Было установлено, что армирование алюминиевых, магниевых и титановых сплавов непрерывными тугоплавкими волокнами бора, карбида кремния, борида титана и оксида алюминия значительно повышает их жаропрочность [1-5]. Так, сплавы алюминия, армированные волокнами бора, можно надежно эксплуатировать при температурах до (450-500) °С вместо (250-300) °С [1-5]. Основным недостатком композитов с одно- и двухмерным армированием их волокнами является низкое сопротивление КМ межслоному сдвигу и поперечному обрыву. Этого лишены материалы с объемным армированием их волокнами [1-5].

2.2. Дисперсно-упрочненные композиты. В отличие от волокнистых КМ в *дисперсно-упрочненных композитах* матрица является основным элементом, несущим внешнюю силовую нагрузку, а их наполнители (дисперсные частицы) тормозят движение в ней (матрице) дислокаций. В таких КМ высокая прочность достигается при размере дисперсных частиц (10-500) нм, а также при среднем расстоянии между ними (100-500) нм и равномерном распределении их в матрице [1-5]. В этих композитах прочность и жаропрочность в зависимости от объемного содержания упрочняющих фаз в их матрице не подчиняются закону аддитивности. Оптимальное содержание второй фазы в матрице для различных металлов в указанных КМ неодинаково, но обычно не превышает (5-10) % от объема материала матрицы [1]. Использование в качестве упрочняющих фаз стабильных тугоплавких соединений (например, оксидов тория, гафния, иттрия, сложных соединений оксидов и редкоземельных металлов), не растворяющихся в матричном металле композита, позволяет сохранить высокую прочность материала КМ до температур, приближающихся к температуре плавления металла матрицы [1]. В связи с этим такие КМ чаще всего применяют как жаропрочные материалы. Дисперсно-упрочненные композиты могут быть получены на основе большинства применяемых в настоящее время в технике металлов и сплавов (например, алюминия, магния, никеля, меди и др.) [1-5]. Наиболее широко в качестве подобных КМ используют сплавы на основе алюминия – САП (спеченный алюминиевый порошок с оксидом Al_2O_3) [1]. Плотность этих КМ практически равна плотности алюминия. Они не уступают ему по коррозионной стойкости и даже могут заменять титан и коррозионно-стойкие стали при работе в интервале температур (250-500) °С. По длительной прочности они превосходят деформируемые алюминиевые сплавы. Так, длительная прочность для сплавов типа САП-1 и САП-2 при 500 °С составляет (45-55) МПа [1]. По мнению материаловедов, большие перспективы у никелевых дисперсно-упрочненных материалов. Ими было установлено, что наиболее высокую жаропрочность имеют сплавы на основе никеля с (2-3) % двуоксида тория или двуоксида гафния [1-5]. Широкое применение среди рассматриваемых КМ получили сплавы типа ВДУ-1 (никель, упрочненный двуокисью тория), типа ВДУ-2 (никель, упрочненный двуокисью гафния) и типа ВДУ-3 (матрица из никеля Ni плюс

20 % по объему хрома Cr, упрочненная окисью тория ThO). Эти сплавы обладают высокой жаропрочностью. Следует отметить то, что введение в эти КМ (5-10) % армирующих наполнителей (тугоплавких оксидов, нитридов, боридов и карбидов) приводит к повышению сопротивляемости их металлической матрицы силовым нагрузкам. При этом эффект увеличения прочности материала сравнительно невелик. Однако, ценным здесь является увеличение жаропрочности получаемого композита по сравнению с исходной матрицей. Так, введение в жаропрочный хромоникелевый сплав тонкодисперсных порошков оксида тория или оксида циркония позволяет увеличить температуру, при которой изделия из этого сплава способны к длительной работе, с 1000 до 1200 °С [1-5]. Укажем, что дисперсно-упрочненные металлические композиты получают путем введения порошка наполнителя в расплавленный металл или методами порошковой металлургии [1-5]. Дисперсно-упрочненные КМ, также как и волокнистые композиты, стойки к разупрочнению с повышением воздействующей на них температуры и к длительности выдержки силового нагружения [1-5].

2.3. Стекловолокниты. Данный композит представляет собой композицию, состоящую из синтетической смолы, являющейся связующим, и стекловолоконного наполнителя-упрочнителя. При этом в качестве наполнителя обычно применяют непрерывное или короткое стекловолокно [1, 2]. Было установлено, что прочность стекловолокна резко возрастает с уменьшением его диаметра. Объясняется эта особенность устранением влияния на прочностные свойства тонких стекловолокон неоднородностей и трещин, возникающих в толстых (с большим поперечным сечением) стекловолокнах. Отметим, что свойства стекловолокна зависят также от содержания в его составе щелочи. Лучшие прочностные показатели у бесщелочных стекол алюмоборосиликатного состава [1-5]. Стекланные волокна обычно выполняются в виде нитей, жгутов (ровингов), стеклотканей (рис. 2), стекломатов и рубленых волокон [1]. Связующим в этих КМ являются полиэфирные, феноло-формальдегидные, эпоксидные и кремнийорганические смолы, полиимиды, алифатические полиамиды, поликарбонаты и др.



Рис. 2. Общий вид фрагмента оригинальной стеклоткани типа Parabeam 3D Glass fabric, состоящей из двух сотканых горизонтально размещенных параллельных стеклопластин, связанных друг с другом вертикальным стекловорсом, и образующей так называемую «сэндвич-стеклоструктуру» [6]

Неориентированные стекловолокниты содержат в качестве наполнителя короткое стекловолокно. Это позволяет прессовать детали сложной формы, включающие и металлическую арматуру [1]. КМ при этом получается с изотропными прочностными характеристиками, которые являются намного более высокими, чем у пресс-порошков. Известными представителями такого композита являются стекловолокниты типа АГ-4В, а также типа ДСВ (дозированные стекловолокниты) [1-6]. Их широко применяют для изготовления силовых электротехнических деталей и деталей машиностроительных изделий (например, золотников, уплотнений электронасосов и др.). При использовании в этих стекловолокнитах в качестве связующего непредельных полиэфиров получают премиксы типа ПСК (пастообразные) и препреги типа АП и ППМ (на основе стеклянного мата) [1]. Препреги можно применять для изготовления легких крупногабаритных изделий простых форм (например, кузовов автомашин, корпусов лодок и ряда приборов) [1-6].

Ориентированные стекловолокниты содержат наполнитель-упрочнитель в виде длинных стекловолокон, располагающихся в КМ ориентированно отдельными прядями и тщательно склеивающихся связующим веществом. Такая технология их изготовления обеспечивает по сравнению с неориентированными стекловолокнитами более высокую прочность получаемого стеклопластика [1-6]. Эти КМ могут надежно работать при воздействующих на них температурах от «минус» 60 °С до «плюс» 200 °С. Они способны выдерживать тропические атмосферные условия и большие инерционные перегрузки [1]. Известно, что проникающие ионизирующие излучения мало влияют на их механические и электрические свойства.

2.4. Карбоволокниты. Этот вид композита содержит связующую полимерную матрицу (на основе фенолформальдегидной или иной смолы) и упрочнитель-наполнитель в виде углеродного волокна (Carbon fiber) [1-6]. Углеродное волокно является новым материалом, состоящим из тонких нитей диаметром от 3 до 15 мкм, образованных преимущественно атомами углерода. Атомы углерода (carbon) в указанных нитях объединены в микроскопические кристаллы, выровненные параллельно друг другу. Выравнивание данных кристаллов придает углеродному волокну большую прочность на растяжение. Углеродные волокна характеризуются высокой силой натяжения, низким удельным весом, низким коэффициентом температурного расширения и химической инертностью [7]. Углеродные волокна получают из синтетических и природных волокон на основе целлюлозы, сополимеров и акрилонитрила [1, 7]. При их изготовлении используется термическая обработка волокна. Проводится она, как правило, в три этапа [7]: 1 этап – окисление при температуре 220 °С; 2 этап – карбонизация при температурах (1000–1500) °С; 3 этап – графитизация при температурах (1800–3000) °С. Такая технология приводит к образованию волокон, характеризующихся высоким содержанием в них углерода (до 99,5 % по массе). Высокая энергия связи атомов в углеродных волокнах позволяет им сохранять свою прочность при очень высоких температурах (в нейтральной среде до

2200 °С), а также и при низких температурах [1-7]. От окисления поверхности углеродные волокна предохраняют защитными пиролитическими покрытиями. В отличие от стеклянных волокон карбоволокна из-за низких показателей своей поверхностной энергии плохо смачиваются применяемым в технологиях их изготовления связующим (матрицей). Поэтому эти волокна перед их заливкой связующим подвергаются травлению [1, 7]. При этом увеличивается степень активирования углеродных волокон по содержанию карбоксильной группы на их наружной поверхности. Из-за этого межслойная прочность при сдвиге для углепластиков увеличивается в 1,6-2,5 раза [1]. Кроме того, при изготовлении рассматриваемых КМ применяется вискеризация нитевидных кристаллов углерода оксидом титана TiO₂, что обеспечивает увеличение межслойной жесткости углепластиков до двух раз и прочности почти в 2,8 раза [1]. Часто при изготовлении *карбоволокнитов (углепластов)* применяются пространственно-армированные структуры. В этом случае связующими (матрицами) служат синтетические полимеры, что обуславливает и название получаемых при этом композитов – полимерные карбоволокниты. В случае, когда в процессе изготовления КМ синтетические полимеры подвергаются пиролизу получаемые композиты называются коксованными карбоволокнитами. При использовании в технологии производства рассматриваемых композитов пиролитического углерода получаемые с его помощью КМ носят название пироуглеродных карбоволокнитов [7].

Эпоксифенольные карбоволокниты типа КМУ-1л могут длительно работать при температуре до 200 °С. Карбоволокниты типа КМУ-3 и КМУ-2л получают на основе эпоксианилиноформальдегидного связующего, выполняющего роль полимерной матрицы. Эти композиты считаются наиболее технологичными карбоволокнитами. Их можно надежно эксплуатировать при температурах до 100 °С. Карбоволокниты типа КМУ-2 и КМУ-3л на основе полиамидного связующего можно применять при температурах до 300 °С. Карбоволокниты отличаются высоким статистическим и динамическим сопротивлением усталости. Они сохраняют это свойство при нормальной и низкой температурах (высокая теплопроводность волокна предотвращает саморазогрев КМ за счет внутреннего трения). Они являются водо- и химически стойкими. После воздействия на воздухе рентгеновского излучения их свойства почти не изменяются [1-7].

В настоящее время одним из направлений в получении новых КМ является изготовление карбоволокнитов с углеродной матрицей. При температурах (800-1500) °С образуются карбонизированные, а при (2500-3000) °С – графитированные карбоволокниты [1, 7]. Для получения пироуглеродных материалов упрочнитель выкладывается по форме изделия и помещается в печь, через атмосферу которой пропускается газообразный углеводород (обычно метан CH₄). При определенном режиме (температуре 1100 °С и остаточном давлении 2660 Па) метан разлагается и образующийся пиролитический углерод осаждается на волокнах упрочнителя, связывая их. Отметим, что образующийся при пиролизе связующего кокс имеет

высокую прочность сцепления с углеродным волокном. В связи с этим получаемый таким путем КМ обладает высокими механическими и абляционными свойствами, а также высокой стойкостью к термическому удару. Карбоволокнит с углеродной матрицей типа КУП-ВМ по значениям прочности и ударной вязкости в 5-10 раз превосходит специальные графиты [1, 7, 8]. При нагреве в инертной атмосфере и вакууме он сохраняет свою прочность до температур около 2200 °С. На воздухе он окисляется, начиная с температур 450 °С, и требует защитного покрытия.

Основными преимуществами карбоволокнитов перед стекловолокнитами является их более низкая плотность и более высокий модуль упругости [7]. Углепласты легки, прочны и имеют практически нулевой коэффициент линейного расширения. Все типы углепластиков хорошо проводят через себя электричество. Из углепластов делают высокотемпературные узлы двигателей ракетной техники и высокоскоростных самолетов, тормозные колодки и диски для реактивных самолетов и многоразовых космических кораблей и узлы электротермического оборудования [8].

2.5. Бороволокниты. Данный КМ представляет собой композицию, выполненную из полимерного связующего (матрицы) и борных волокон (наполнителя). *Бороволокниты (боропластики или боропласты)* отличаются высокой прочностью при сжатии, сдвиге и срезе, низкой ползучестью, высокими показателями твердости и модуля упругости, а также теплопроводности и электропроводности [1-8]. Ячеистая микроструктура борных волокон обеспечивает высокую прочность КМ при сдвиге на границе их раздела с его матрицей. В технологии изготовления этого композита помимо непрерывного борного волокна применяют также комплексные боростеклониты, в которых несколько параллельных борных волокон оплетаются стеклонитью, предающей им формоустойчивость. Применение боростеклонитов облегчает технологический процесс изготовления рассматриваемого КМ. В качестве матриц для получения бороволокнитов используют модифицированные эпоксидные и полиамидные связующие. Бороволокниты типа КМБ-1 и КМБ-1к предназначены для длительной работы при температуре до 200 °С, а типа КМБ-3 и КМБ-3к не требуют высокого давления при переработке и могут работать при температуре не выше 100 °С. Бороволокнит типа КМБ-2к работоспособен при температуре до 300 °С [1-8]. Бороволокниты обладают высокими показателями сопротивления усталости. Они стойки к воздействию проникающей радиации, воды, органических растворителей и различных горюче-смазочных материалов. Кроме того, для бороволокнитов прочность при сжатии в 2-2,5 раза больше, чем для карбоволокнитов [1]. В тоже время высокая хрупкость боропластов затрудняет их обработку и накладывает ограничения на форму изделий, получаемых из бороволокнитов. Технологической особенностью получения борных волокон является то, что необходимый бор для них осаждают из хлорида бора на вольфрамовую матрицу-подложку, стоимость которой может достигать до 30 % от стоимости получаемого борного

волокна [1, 8]. В связи с чем стоимость борного волокна на сегодня высока и достигает 400 \$USA/kg [8].

2.6. Органоволокниты. Эти КМ представляют собой композиты, состоящие из полимерного связующего (матрицы) и упрочнителей (наполнителей) в виде синтетических волокон. *Органоволокниты* обладают малой массой, сравнительно высокими показателями удельной прочности и жесткости. Они стабильны при действии знакопеременных нагрузок и резкой смены температуры [1-8]. В органоволокнитах значения модуля упругости и температурных коэффициентов линейного расширения упрочнителя (синтетических волокон) и связующего (полимерных соединений на основе эпоксидных и других смол) близки. Поэтому при их изготовлении происходит диффузия компонентов связующего в используемое волокно и химическое взаимодействие между ними. Структура получаемого синтетического материала оказывается практически бездефектной [1, 7]. Ее пористость не превышает (1-3) %. Для сравнения заметим, что в других КМ пористость достигает значений (10-20) % [1, 7]. Ударная вязкость у органоволокнитов высокая и равная около (400-700) Па·с [1, 7]. Отсюда и вытекает стабильность механических свойств органоволокнитов при резком перепаде температур, воздействии ударных и циклических силовых нагрузок. Органоволокниты устойчивы к действию агрессивных сред и влажного тропического климата. Диэлектрические свойства их высокие, а теплопроводность низкая. Большинство органоволокнитов может длительно работать при температурах (100-150) °С. На основе полиамидного связующего и полиоксадиазольных волокон они способны надежно функционировать при температурах (200-300) °С [1, 7]. Недостатком этих композитов является их сравнительно низкая механическая прочность при сжатии и высокая ползучесть.

2.7. Полимерные нанокомпозиты. Данный вид КМ представляет собой полимеры, наполненные наночастицами, взаимодействующими с полимерной матрицей не на макроуровне (как в случае с обычными композитами), а на молекулярном уровне [9]. Благодаря такому взаимодействию образуется композит, обладающий высокой адгезионной прочностью полимерной матрицы к наночастицам. Как известно, наночастицы имеют линейные размеры не более 100 нм в одном из трех пространственных измерений [10]. Анализ проведенных в последние годы отечественных и зарубежных работ свидетельствует о высокой перспективности исследований в области *полимерных нанокомпозитных материалов* [9]. К сожалению, эти работы содержат много технологических «ноу-хау» и доступ к ним в настоящее время крайне ограничен [2].

2.8. Интерметаллиды. Такое название в материаловедении получили новые химические соединения на основе композиций типа «титан-алюминий», «никель-алюминий» и др. [9]. Считается, что именно *интерметаллиды*, как новый класс конструктивных материалов, способны привести к революционным решениям при разработке и создании перспективных изделий для ракетно-космической техники. Эти композиты имеют сравнительно низкую плотность – от 3,7 до 6,0 г/см³ и обладают высокой жаропрочностью

(до 1200 °С) [9]. Кроме того, они характеризуются высокими показателями коррозионной стойкости, жаростойкости и износостойкости. Интерметаллидные сплавы на основе титана могут работать до температуры 850 °С без защитных покрытий. Сплавы же на основе никеля – до 1500 °С [9]. По мнению специалистов использование интерметаллидов в двигательных установках (например, для ротора, статора, крыльчатки, клапанной группы, неохлаждаемых сопел и др.) позволит повысить удельную тягу двигателей на (25-30) %, а также обеспечить снижение массы конструкций двигательных установок до 40 % [2, 9].

2.9. Эвтектические композиты. Этот вид КМ является сплавом эвтектического или близкого к эвтектическому состава, в котором в качестве упрочняющей фазы выступают ориентированные кристаллы, образующиеся в процессе направленной кристаллизации [8]. В отличие от обычных КМ, *эвтектические композиты* получают за одну технологическую операцию. Направленная ориентированная кристаллическая структура может быть получена на финальной стадии выпуска изделия. Геометрическая форма образующихся при выполнении соответствующей операции кристаллов может быть в виде волокон или пластин. Способами направленной кристаллизации уже получают композиты на основе алюминия, магния, меди, кобальта, титана, ниобия и других химических элементов [8]. Поэтому эти композиты могут использоваться в широком интервале температур [2].

2.10. Композиты на основе керамики. Армирование керамических материалов (матриц) волокнами, а также металлическими и керамическими дисперсными частицами позволяет получать высокопрочные композиты [8]. В качестве упрочнителя-наполнителя при этом зачастую применяют металлические волокна. В этом случае сопротивление растяжению растет незначительно, но зато существенно повышается сопротивление тепловым ударам. Из-за чего керамический материал меньше растрескивается при своем нагревании. Свойства получаемого таким путем КМ будет зависеть от соотношения коэффициентов термического расширения его матрицы и наполнителя. Армирование керамики дисперсными металлическими частицами обеспечивает получение нового вида материала – *кермета*, обладающего повышенной механической стойкостью, теплопроводностью и устойчивостью к тепловым ударам [8, 11]. В этих обоих случаях *керамические композиты* получают методом горячего прессования (таблетирование с последующим спеканием под давлением) или методом шликерного литья (волокна наполнителя заливаются суспензией матричного материала, которая после сушки подвергается спеканию в специальных печах) [2, 11].

2.11. Функционально-градиентные материалы. Такие новые виды композитов как *функционально-градиентные материалы* (ФГМ) являются сплавами, состоящими из твердых зерен карбидов, нитридов и боридов переходных металлов (например, карбид вольфрама, карбид титана, карбонитрид титана, диборид титана и др.), образующих прочный непрерывный каркас (матрицу), и металлической связки (из кобаль-

та, никеля, титана, алюминия и др.), содержание которой непрерывно изменяется в объеме такого КМ [12]. Практическая реализация слоистой структуры ФГМ обеспечивается послойным прессованием твердосплавных пресс-порошков с различным содержанием указанной выше металлической связки и различным размером зерна твердой фазы с последующим вакуумным спеканием. При этом в рассматриваемом КМ будет наблюдаться массоперенос металлической связки в ходе жидкофазного спекания из слоя с большим размером зерна в слой с меньшим размером зерна, приводящий к градиенту содержания ее в сплаве. Такая технология изготовления КМ дает возможность управлять градиентом в системе «каркас-связка» для рассматриваемого композита при помощи изменения ее (металлической связки) концентрации в прессуемых слоях ФГМ. В результате ФГМ обладают свойствами как твердого сплава, так и металла. Поэтому такие композиты имеют высокую твердость, термическую стойкость и большую ударную вязкость [2, 12].

3. Основные свойства и технические характеристики композитов. Остановимся на преимуществах, свойствах и недостатках ряда указанных КМ.

3.1. Преимущества композитов. Главное преимущество КМ перед традиционными конструкционными материалами состоит в том, что в процессе изготовления того или иного композита материал и конструкция изделия создаются одновременно [1-5]. КМ специалистами всегда создается под конкретные технические задачи и для конкретного изделия. Поэтому композит по своей сути не может быть всегда априори лучше традиционного материала во всем. Основными достоинствами большинства известных в мире композитов являются их следующие свойства [1-9]:

- высокая механическая прочность (при временном сопротивлении до 3500 МПа);
- высокая механическая жесткость (при модуле упругости от 130 до 240 ГПа);
- высокая коррозионная стойкость в агрессивных средах и износостойкость конструкций из КМ;
- высокая усталостная механическая прочность;
- высокая тепло- и жаростойкость (до 1650 °С);
- высокие теплозащитные свойства КМ;
- низкий коэффициент теплового расширения;
- низкие показатели плотности и весовых (массовых) характеристик, обуславливающие легкость конструкций, изготовленных с применением КМ;
- возможность изготовления из КМ размеростабильных конструкций различного назначения.

3.2. Некоторые свойства боропластиков. Одними из наиболее перспективных КМ в области самолето- и ракетостроения являются бороволокониты, выполненные с применением армирующего борного волокна и эпоксидных матриц [13]. По результатам зарубежных исследований использование боропластов позволяет уменьшить вес готовой конструкции летательного аппарата (ЛА) на (20-40) %, значительно увеличить ее жесткость и повысить эксплуатационную надежность изделия в целом [13]. Соотношения удельных прочностей боропластов и, например,

алюминиевых сплавов для растяжения составляют 1,3-1,9, для сжатия – 1,5, для сдвига – 1,2, а для смятия – 2,2 [13]. Кроме того, боропластики сохраняют свои качества в диапазоне температур от –60 до +177 °С [2, 13].

3.3. Некоторые свойства углепластиков. Известно, что углепластики характеризуются сравнительно малым удельным весом (до 1,5 г/см³, тогда как плотность алюминиевых сплавов составляет около 2,8 г/см³, а титановых сплавов – 4,5 г/см³ [13]), высокими значениями жесткости, вибропрочности и усталостной прочности [1-9]. Согласно данным [13] механическая прочность и жесткость углепластиков примерно в шесть раз выше, чем у основных сортов стали, используемых в конструкциях ЛА. Углепласты радиопрозрачны (хорошо пропускают сквозь себя электромагнитные волны) [1-9]. Карбоволокониты (углепластики) с углеродной матрицей (при удельном весе до 1,4 г/см³) обладают высокими теплозащитными свойствами и способностью сохранять свои прочностные характеристики при температурах до 2500 °С [7, 13].

3.4. Некоторые свойства бороалюминия. В этом КМ с матрицей из алюминиевых сплавов в качестве армирующего наполнителя используются волокна бора (иногда с покрытием из карбида кремния SiC) [13]. Бороалюминий в 3,5 раза легче алюминия и в два раза прочнее его, что позволяет получать значительную весовую экономию для ряда конструкций ЛА. Кроме того, при высоких температурах (до 430 °С) бороалюминиевый композит имеет в два раза большие значения механической прочности и жесткости по сравнению с титаном [13]. Поэтому бороалюминий может составить конкуренцию титану при его использовании в сверхзвуковых самолетах со скоростями полета около трех чисел Маха (в настоящее время в качестве конструкционного материала в таких ЛА используются исключительно титановые сплавы) [13].

3.5. Недостатки композитов. Все известные на сегодня в мире КМ имеют ряд существенных недостатков, сдерживающих их более широкое применение в различных областях современной техники [1-9]:

- высокая стоимость, которая обусловлена высокой наукоемкостью производства КМ, необходимостью применения в технологии изготовления КМ специального дорогостоящего оборудования и сырья;
- анизотропия свойств, приводящая к зависимости физико-механических характеристик КМ от выбора направления их измерения в готовом изделии;
- низкая ударная вязкость, обуславливающая выбор для изделия повышенного коэффициента запаса прочности и как следствие этого – повышенный расход дорогостоящего КМ и повышенная вероятность возникновения в изделии скрытых дефектов;
- высокий удельный объем КМ в изделии, который недопустим в областях с жестким ограничением занимаемого объема (например, при создании сверхзвуковых самолетов, для которых даже незначительное увеличение объема элементов приводит к резкому росту волнового аэродинамического сопротивления);
- гигроскопичность, обусловленная несплошностью внутренней структуры КМ и соответственно склонностью к впитыванию атмосферной влаги;

- токсичность, обусловленная выделением из структуры КМ в процессе их длительной эксплуатации вредных для здоровья человека токсичных паров;

- низкая эксплуатационная технологичность, приводящая к низкой ремонтпригодности композитов и высокой стоимости эксплуатации изделий, в конструкциях деталей которых применяются КМ.

4. Основные области применения композитов в технике. Области использования КМ не ограничены. Внедрение композитов в современную технику обеспечивает новый качественный скачок в увеличении мощности двигателей, энергетических установок и транспортных средств, уменьшении веса (массы) машин и приборов. Практическое применение КМ в современной технике рассмотрим на ряде примеров.

4.1. Авиационная и ракетно-космическая техника. КМ с металлической матрицей, армированные нитевидными монокристаллами («усами»), были созданы в начале 1970-х годов целенаправленно для авиационных и космических конструкций ЛА [8]. Нитевидные кристаллы для композитов получают методом протягивания соответствующего расплава через фильеры. Для указанных технических целей используются «усы» сапфира (оксида алюминия Al₂O₃) и бериллия, карбидов бора и кремния, а также нитридов алюминия, кремния и других химических элементов длиной (0,3-15) мм и диаметром (1-30) мкм [8, 11]. Армирование «усами» многих металлов позволяет значительно увеличить прочность создаваемого материала и повысить его жаростойкость. Так, предел текучести композита из серебра, содержащего 24 % «усов» из оксида алюминия, в 30 раз превышает предел текучести серебра и в два раза других КМ на основе серебра [11]. Армирование «усами» из оксида алюминия композитов на основе тугоплавких металлов вольфрама и молибдена вдвое увеличивает их механическую прочность при температуре рабочей среды до 1650 °С [11]. Это позволило использовать данные жаростойкие КМ с металлической матрицей при изготовлении жаростойких сопел большинства жидкостных и твердотопливных ракетных двигателей для ракетносителей мирного и военного назначения.

Применение боропластиков в современной технике ограничивается, прежде всего, высокой стоимостью производства используемых в них борных волокон (до 400 \$USA/кг [8]). В этой связи они используются главным образом в изделиях авиационной и ракетно-космической техники в деталях и узлах, подвергающихся длительным силовым нагрузкам в условиях воздействия агрессивной среды [8]. Благодаря указанным ранее качествам (см. пп. 2.4 и 3.3) углепластики считаются весьма перспективными для изготовления тех деталей и узлов самолетов, которые работают в условиях высоких температур, а также для теплозащитных экранов ЛА и, прежде всего, космических кораблей [13]. Отметим, что первоначально (в 1970-е годы) использование углепластов в конструкциях самолетов было незначительным (из-за высокой стоимости углеродного волокна, составляющей до 900 \$USA/кг) [13]. В начале 21-го столетия эта стоимость составляла уже около 150 \$USA/кг. По прогно-

зам американских специалистов скоро стоимость углеродного волокна будет составлять до 80 \$USA/кг. Исходя из приведенных в п. 3.4 сведений, бороалюминий также можно считать одним из перспективных КМ, применение которого в самолетостроении может дать до 50 % экономии веса конструкций ЛА [11, 13].

На рис. 3 приведен общий вид российского среднемагистрального пассажирского самолета типа Ту-204, в конструкциях деталей (узлов) которого на начало XXI века доля КМ составляла до 25 % [14]. Укажем, что доля использования композитов на новом российском самолете типа МС-21, разрабатываемом корпорацией «Иркут», будет составлять уже до 37 %.



Рис. 3. Общий вид среднемагистрального пассажирского самолета типа Ту-204 (РФ, 1990-е годы), в котором до 25 % всех деталей планера было выполнено из композитов [14]

Мировые лидеры самолетостроения – корпорации Airbus и Boeing также активно применяют в конструкциях своих ЛА композиты. Если в их самолетах типа А-340 и В-777 в 2000 г. было использовано лишь (10-15) % КМ от веса лайнера, то уже в 2015 г. эта цифра составила не менее 50 % [14]. На рис. 4 показан внешний вид американского магистрального пассажирского самолета типа Boeing 787 Dreamliner, в котором доля КМ по массе (весу) превышает 50 % [14].

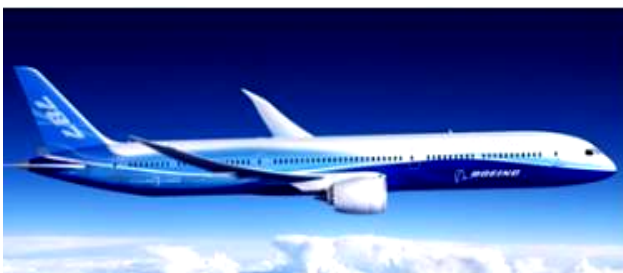


Рис. 4. Общий вид магистрального пассажирского самолета типа Boeing 787 Dreamliner (США, 2015 г.), фюзеляж и крылья которого на 90 % были изготовлены из композитов [14]

Известно, что использование полимерных КМ при производстве авиационной и космической техники позволяет снизить от 5 до 50 % вес (массу) ЛА [11, 13]. При этом отметим, что снижение веса (массы), например, искусственного спутника Земли при его выводе на околоземную орбиту на 1 кг приводит к экономии денежных средств до 1000 \$USA [11]. В этой связи задачи практического применения КМ в объектах ракетно-космической техники являются на сегодня не просто актуальными и перспективными,

а определяющими и стратегическими задачами для разработчиков и создателей этой наукоемкой техники.

Используя мировой опыт применения КМ в конструкциях гражданских и военных самолетов и учитывая высокие механические и теплозащитные свойства полимерных КМ, специалисты США пришли к выводу об использовании углеволоконистых композитов с углеродной матрицей при изготовлении головных частей ракет стратегического назначения [13, 15].

Отметим, что из углепластиков в сочетании с алюминиевой сотовой конструкцией уже изготавливается ряд ответственных деталей искусственных спутников Земли (например, каркасы их ряда радиоантенн) [11, 15]. Подчеркнем то, что в настоящее время из-за особой важности и наличия многих технологических «ноу-хау» технологии получения в мире высококачественного углеродного волокна и соответственно технологии изготовления с его помощью различных углепластиков закрыты «за семью замками». По мнению авторитетных ученых сейчас в мире такими технологиями владеют не более двух-трех стран [16]. Купить их путем приобретения соответствующих лицензий у разработчика невозможно. Поэтому многие заинтересованные фирмы, работающие особенно в области аэрокосмической техники, стоят перед дилеммой [16]: «Либо ты покупаешь готовое изделие (например, самолет, в котором углепластик используется в виде деталей). Либо необходимую технологию для производства хорошего углепластика разрабатывай сам».

На рис. 5 приведен общий вид орбитального отсека нового американского космического корабля Liberty для перевозки астронавтов и научного оборудования на международную космическую станцию (МКС) [17]. Легкий корпус отсека был изготовлен из полимерных КМ на основе углеродного волокна [17].



Рис. 5. Общий вид орбитального отсека нового космического корабля Liberty (США), выполненного на 90 % из полимерных композитов и предназначенного для многократной доставки астронавтов и научных грузов на борт МКС [17]

Укажем, что в НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ» в последние годы совместно с ГП «Антонов», Институ-

том проблем материаловедения им. И.Н. Францевича НАН Украины и корпорацией Boeing были проведены сертификационные испытания опытных листовых образцов с размерами в плане 500×500 мм ряда КМ, предназначенных для изготовления композиционных обшивок отечественных и зарубежных пассажирских самолетов (в том числе и для самолета типа Boeing 787 Dreamliner [14]), на стойкость к прямому воздействию на них импульсного тока искусственной молнии [18]. Данные испытания были выполнены на разработанном и созданном в нашем институте (в отделе №4 «Электромагнитных исследований») уникальном генераторе тока искусственной молнии типа УИТОМ-1, формирующем на испытываемом техническом объекте импульсную А- и длительную С- компоненты тока имитированного грозового воздушного разряда с нормированными амплитудно-временными параметрами (АВП) [19]. Кроме того, указанные высокоточные высоковольтные испытания были проведены в соответствии с жесткими требованиями действующих нормативных документов США SAE ARP 5412 и SAE ARP 5416 [20, 21]. В результате длительных испытаний (при общем числе испытанных на рабочем столе генератора типа УИТОМ-1 различных по составу и идентичных по геометрическим размерам опытных образцов листовых композитов не менее 250 шт.) были определены стойкие КМ к прямому воздействию на них указанных нормированных по [20, 21] компонент импульсного тока искусственной молнии с предельными АВП (при амплитуде I_{mA} импульсной А- компоненты тока отрицательной полярности с длительностью фронта ≤ 50 мкс, равной (200 ± 20) кА; интеграле действия импульсной А- компоненты тока, равном $(2 \pm 0,4) \cdot 10^6$ Дж/Ом; длительности импульсной А- компоненты тока ≤ 500 мкс; амплитуде I_{mC} длительной С- компоненты тока отрицательной полярности, равной $(0,2-0,8)$ кА; протекшем по образцу электрическом заряде от длительной С- компоненты тока, равном (200 ± 40) Кл; длительности протекания длительной С- компоненты тока, равной $(0,25-1)$ с [18]).

На рис. 6 приведен внешний вид округлой зоны повреждения (диаметром до 100 мм) опытного листового образца композиционной обшивки ЛА толщиной 3 мм (при его размерах в плане 500×500 мм) при воздействии на него лишь импульсной А- компоненты тока искусственной молнии с амплитудой, равной $I_{mA} \approx 212$ кА [18]. Многослойный композит данного образца при этом в своем составе имел слои стеклопластика с эпоксидной матрицей, слои углепластика с эпоксифенольной матрицей и слои тонких металлических сеточек, выполняющих роль упрочнителя [7, 18].

4.2. Машиностроение. В машиностроительной отрасли КМ широко применяются для создания твердых покрытий на режущем инструменте и защитных покрытий на металлических поверхностях с интенсивным трением, а также для изготовления различных деталей двигателей внутреннего сгорания (например, поршней, шатунов и др.) [1-9, 22]. При этом для создания износостойких покрытий на режущем инструменте применяются твердые структуры карбида тита-

на TiC [22], а для защитных покрытий могут использоваться ряд функционально отличающихся материалов [2, 11]: неорганические материалы (модифицированные различными добавками силикаты магния, железа и алюминия); полимерные материалы (политетрафторэтилены, модифицированные ультрадисперсными алмазграфитовыми порошками и ультрадисперсными порошками мягких металлов); металлоорганические материалы, содержащие повышенное количество кислотных функциональных групп. За счет формирования на защищаемых поверхностях высокопрочных металлокерамических, политетрафторэтиленовых и металлоорганических слоев в локальной зоне высоких силовых нагрузок (из-за фазовых переходов и процессов пластификации) образуемые защитные композиционные покрытия характеризуются следующими свойствами [1-9]: высокой адгезией к поверхности защищаемого металла; высокой чистотой рабочей поверхности (до 9 класса); низкой пористостью (при размерах пор до 3 мкм и толщине покрытия до 100 мкм); низким коэффициентом трения (до 0,01).

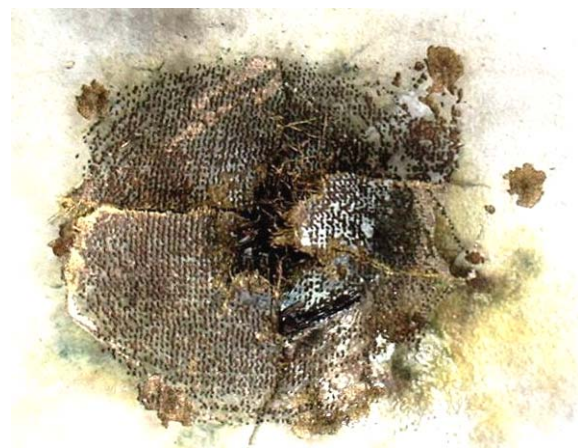


Рис. 6. Результаты действия импульса тока искусственной молнии ($I_{mA} \approx 212$ кА) на опытный образец обшивки самолета, выполненный из многослойного КМ с использованием стекловолокна, углепласта и металлических сеточек [18]

4.3. Спецобласти техники. Из высокотемпературных керметов в настоящее время делают детали для реактивных самолетов и космической техники, газовых турбин, а также различную арматуру электроточечей [11]. Твердые износостойкие керметы используют для изготовления режущих инструментов. Кроме того, керметы применяют в специальных областях техники при изготовлении тепловыделяющих элементов атомных реакторов на основе оксида природного урана ^{238}U , фрикционных материалов для тормозных систем различных устройств и др. [11].

ФГМ могут эффективно использоваться в следующих технических областях [12]: в военной технике (изготовление бронезилетов и защиты танков и вертолетов от пулевого и осколочного поражения); при металлообработке (изготовление резцов для обработки труднообрабатываемых сталей и сплавов); в горнодобывающей промышленности (изготовление резцов для бурения скальных пород); в перерабатывающей промышленности (выполнение облицовки измельчителей для размола твердых веществ) и др.

Дисперсионно-упрочненные композиты на основе спеченного алюминиевого сплава САП используются при изготовлении лопаток мощных компрессоров, вентиляторов и паровых турбин [11]. КМ, содержащие армированные нитевидные монокристаллы, нашли применение при производстве лопаток газовых турбин, которые изготавливаются из никелевых сплавов, армированных кристаллическими нитями сапфира (оксида алюминия Al_2O_3) [7, 9]. Это позволяет значительно повысить температуру перегретого пара на входе в турбину (заметим, что предел прочности сапфировых монокристаллов при температуре 1680 °C составляет не менее 700 МПа [11-17]) и соответственно повысить ее коэффициент полезного действия.

Такие известные еще с середины 20-го столетия композиты как различные типы текстолитов (в этих КМ в качестве наполнителя используются ткани из разнообразных волокон – хлопковых, синтетических, стеклянных, углеродных, асбестовых, базальтовых и др. [2]) и древесно-слоистые пластики на основе фенолформальдегидной смолы нашли применение в высоковольтной силовой электротехнике при изготовлении силовых узлов и несущих элементов изоляционных конструкций мощных электрофизических установок для научных и технологических целей [18].

Выводы.

1. Металлические и неметаллические композиты из-за своих высоких физико-механических характеристик уже нашли весьма широкое практическое применение во многих областях современной техники (в авиационной технике для высоконагруженных деталей самолетов и их двигателей; в космической технике для узлов силовых конструкций ЛА, подвергающихся интенсивному нагреву и большим перегрузкам, элементов жесткости и тепловой защиты ЛА; в реакторостроении для атомных электростанций; в машиностроении при создании твердых и защитных покрытий и др.; в судно- и автомобилестроении для производства гребных винтов и облегчения кузовов, рам, автопанелей и др.; в турбиностроении для создания лопаток; в химической промышленности для автоклавов и цистерн для хранения и перевозки хим- и нефтепродуктов; в горнодобывающей промышленности при изготовлении бурового инструмента, деталей подземных комбайнов и др.; в гражданском строительстве при выполнении пролетов мостов, элементов сборных конструкций высотных сооружений и др.; в высоковольтной импульсной технике для изготовления таких усиленных изоляционных материалов как стеклотекстолит, древесно-слоистый пластик марки ДСПБ-Э, бакелит, бакелизированная фанера и др.).

2. Сложной научно-технической задачей, стоящей в мире перед производителями композитов, является разработка новых технологий их изготовления с более низкими затратами, которые сделали бы КМ конкурентоспособными по отношению к традиционным металлам и сплавам, тоже участвующим в борьбе за ведущую роль в производстве будущей техники.

3. Композиты могут стать для человечества конструкционными материалами ближайшего будущего. Именно в этих синтетических материалах удачно сочетаются высокая механическая прочность с их высоким модулем упругости и небольшой плотностью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. http://ru.wikipedia.org/wiki/Композиционный_материал.
2. <http://www.e-plastic.ru/main/articles/r2/pk01>.
3. Достижения в области композиционных материалов / Под. ред. Дж. Пиатти. – М.: Металлургия, 1982. – 304 с.
4. <http://www.mtomd.info/archives/1764>.
5. Васильев В.В. Механика конструкций из композиционных материалов. – М.: Машиностроение, 1988. – 272 с.
6. <http://stroimsamolet.ru/057.php>.
7. <http://www.hccomposite.com/catalog/40/131>.
8. <http://www.mtomd.info/archives/1764>.
9. <http://www.zadachi.org.ru/?n=150240>.
10. Баранов М.И. Антология выдающихся достижений в науке и технике. Часть 13: Нанотехнологии // *Электротехника і електромеханіка*. – 2013. – №2. – С. 3-13. doi: 10.20998/2074-272X.2013.2.01.
11. http://www.krugosvet.ru/enc/nauka_i_tehnika/himiya/KOMPOZITSIONNIE_MATERIALI.html?page=0,0.
12. <http://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/367846>.
13. http://pentagonus.ru/publ/1976/kompozicionnye_materialy_v_aviastroenii_1976/126-1-0-1942.
14. http://olymp.asclub.ru/publ/raboty_1_go_tura/gotovye_raboty/kak_i_gde_v_samoletostroenii_ispolzujutsja_kompozicionnye_materialy/6-1-0-825.
15. <http://www.spblp.ru/magazine/82/183>.
16. <http://olgamwill.livejournal.com/5463.html>.
17. http://rnd.cnews.ru/news/top/index_science.shtml?2012/05/12/489249.
18. Баранов М.И. Избранные вопросы электрофизики: Монография в 2-х томах. Том 2, Кн. 2: Теория электрофизических эффектов и задач. – Х.: Точка, 2010. – 407 с.
19. Баранов М.И., Колиушко Г.М., Кравченко В.И., Недзельский О.С., Дныщенко В.Н. Генератор тока искусственной молнии для натурных испытаний технических объектов // *Приборы и техника эксперимента*. – 2008. – №3. – С. 81-85. doi: 10.1134/s0020441208030123.
20. SAE ARP 5412: 2013. Aircraft Lightning Environment and Related Test Waveforms. SAE Aerospace. USA, 2013. – pp. 1-56.
21. SAE ARP 5416: 2013. Aircraft Lightning Test Methods. SAE Aerospace. USA, 2013. – pp. 1-145.
22. Верещака А.С., Третьяков И.П. Режущие инструменты с износостойкими покрытиями. – М.: Машиностроение, 1986. – 192 с.

REFERENCES

1. Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Composite_material (accessed 13 June 2015).
2. Available at: <http://www.e-plastic.ru/main/articles/r2/pk01> (accessed 12 May 2016). (Rus).
3. Piatti J. *Dostizhenija v oblasti kompozicionnyh materialov* [Achievements in the field of composite materials]. Moscow, Metallurgy Publ., 1982. 304 p. (Rus).
4. Available at: <http://www.mtomd.info/archives/1764> (accessed 03 March 2014). (Rus).
5. Vasil'ev V.V. *Mehanika konstrukcij iz kompozicionnyh materialov* [Mechanics of composite structures materials]. Moscow, Metallurgy Publ., 1988. 272 p. (Rus).
6. Available at: <http://stroimsamolet.ru/057.php> (accessed 21 October 2015). (Rus).
7. Available at: <http://www.hccomposite.com/catalog/40/131> (accessed 10 May 2016). (Rus).
8. Available at: <http://www.mtomd.info/archives/1764> (accessed 20 April 2015). (Rus).
9. Available at: <http://www.zadachi.org.ru/?n=150240> (accessed 15 August 2014). (Rus).
10. Baranov M.I. An anthology of outstanding achievements in science and technology. Part 13: Nanotechnologies. *Electrical engineering & electromechanics*, 2013, no.2, pp. 3-13. (Rus). doi: 10.20998/2074-272X.2013.2.01.

11. Available at: http://www.krugosvet.ru/enc/nauka_i_tehnika/himiya/KOMPOZITSIONNIE_MATERIALI.html?page=0.0 (accessed 12 May 2015). (Rus).
12. Available at: <http://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/367846> (accessed 02 January 2013). (Rus).
13. Available at: http://pentagonus.ru/publ/1976/kompozicionnye_materialy_v_a_viastroenii_1976/126-1-0-1942 (accessed 01 May 2013). (Rus).
14. Available at: http://olymp.asclub.ru/publ/raboty_1_go_tura/gotovye_raboty/kak_i_gde_v_samoletostroenii_ispolzujutsja_kompozicionnye_materialy/6-1-0-825 (accessed 21 September 2015). (Rus).
15. Available at: <http://www.spblp.ru/magazine/82/183> (accessed 11 November 2016). (Rus).
16. Available at: <http://olgamwill.livejournal.com/5463.html> (accessed 18 June 2015). (Rus).
17. Available at: http://rnd.cnews.ru/news/top/index_science.shtml?2012/05/12/489249 (accessed 22 April 2014). (Rus).
18. Baranov M.I. *Izbrannye voprosy elektrofiziki. Tom 2, Kn. 2: Teoriia elektrofizicheskikh efektov i zadach* [Selected topics of Electrophysics. Vol.2, Book 2. A theory of electrophysical effects and tasks]. Kharkiv, Tochka Publ., 2010. 407 p. (Rus).
19. Baranov M.I., Koliushko G.M., Kravchenko V.I., Nedzel'skii O.S., Dnyshchenko V.N. A Current Generator of the Artificial Lightning for Full-Scale Tests of Engineering Objects. *Instruments and Experimental Technique*, 2008, no.3, pp. 401-405. doi: 10.1134/s0020441208030123.
20. SAE ARP 5412: 2013. Aircraft Lightning Environment and Related Test Waveforms. SAE Aerospace. USA, 2013. – pp. 1-56.
21. SAE ARP 5416: 2013. Aircraft Lightning Test Methods. SAE Aerospace. USA, 2013. – pp. 1-145.
22. Vereshchaka A.S., Tret'yakov I.P. *Rezhushchie instrumenty s iznosostojkimi pokrytijami* [Tool pieces with wearproof coverages]. Moscow, Engineering Publ., 1986. 192 p. (Rus).

Поступила (received) 10.10.2016

Баранов Михаил Иванович, д.т.н., д.л.н.с.,
НИПКИ «Молния»
Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
61013, Харьков, ул. Шевченко, 47,
тел/phone +38 057 7076841,
e-mail: baranovmi@kpi.kharkov.ua

M.I. Baranov
Scientific-&-Research Planning-&-Design Institute «Molniya»,
National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»,
47, Shevchenko Str., Kharkiv, 61013, Ukraine.

An anthology of the distinguished achievements in science and technique. Part 41: Composite materials: their classification, technologies of making, properties and application domains in modern technique.

Purpose. Preparation of brief scientific and technical review about the state, achievements and prospects of development of works domestic and foreign scientists-specialists on materials and technologists in area of development and creation of composite materials (compos). **Methodology.** Scientific methods of collection, analysis and analytical treatment of the opened scientific and technical information of world level in area of studies about materials, related to development of basic technologies of making of new perspective compos and their application in a modern technique. **Results.** A state-of-the-art scientific and technical review is resulted about the state, achievements and prospects on the future in the world of researches on development and creation of new metallic and non-metal compos, possessing as compared to traditional homogeneous materials substantially more high physical and mechanical descriptions. Classification of compos is executed. Technologies of making of basic types of compos, findings a practical wide use enough in an aviation and space-rocket technique, engineering and row of the special areas of modern technique are briefly described. Main properties of basic types of compos and their advantage are indicated before traditional metals and alloys. The basic failings and technical application for today of different compos domains are resulted. Considerable progress is marked in technologies of making and volumes of the use in the front-rank areas of technique of compos. The possible nearest prospects are indicated in the use of compos on the future in a number of stormy developing in the whole world technical areas. **Originality.** Systematization of the scientific and technical materials, devoted the basic results of works on being in 2016 year of domestic and foreign specialists in area of development, making and application in the modern technique of the most perspective types of compos, known from the sources opened in outer informative space is executed. **Practical value.** Popularization and deepening for students, engineers and technical specialists and research workers of scientific and technical knowledges in the necessary area of development, creation and application in the modern technique of compos, extending their scientific range of interests and further development of scientific and technical progress in human society. References 22, figures 6.

Key words: composite materials, basic technologies of receipt of compos, advantages of compos before traditional materials, world achievements in creation of compos.