СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 3

1 ТИПЫ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ 4

2 КЛАССИФИКАЦИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ. 6

2.1 Волокнистые композиционные материалы. 6

2.2 Дисперсно-упрочненные композиционные материалы. 9

2.3 Стекловолокниты. 10

2.4 Карбоволокниты. 11

2.5 Карбоволокниты с углеродной матриццей. 13

2.6 Бороволокниты. 14

2.7 Органоволокниты. 15

3 ИЗГОТОВЛЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ АРМИРОВАННЫХ ВОЛОКНАМИ. 16

4 ИЗГОТОВЛЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПОЛИМЕРНОЙ МАТРИЦЕЙ 18

5 ИЗГОТОВЛЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ МАТРИЦЕЙ 21

6 КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ «БИОКЕРАМИКА-НИКЕЛИД ТИТАНА» 25

7 ПРИМЕНЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ 27

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. 29

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ 30

1 ТИПЫ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ.

1. Композиционные материалы с металлической матрицей.

Композиционные материалы состоят из металлической матрицы (чаще Al, Mg, Ni и их сплавы), упрочненной высокопрочными волокнами (волокнистые материалы) или тонкодисперсными тугоплавкими частицами, не растворяющимися в основном металле (дисперсно-упрочненные материалы). Металлическая матрица связывает волокна (дисперсные частицы) в единое целое. Волокно (дисперсные частицы) плюс связка (матрица), составляющие ту или иную композицию, получили название композиционные материалы.

2. Композиционные материалы с неметаллической матрицей.

Композиционные материалы с неметаллической матрицей нашли широкое применение. В качестве неметаллических матриц используют полимерные, углеродные и керамические материалы. Из полимерных матриц наибольшее распространение получили эпоксидная, фенолоформальдегидная и полиамидная. Угольные матрицы коксованные или пироуглеродные получают из синтетических полимеров, подвергнутых пиролизу. Матрица связывает композицию, придавая ей форму. Упрочнителями служат волокна: стеклянные, углеродные, борные, органические, на основе нитевидных кристаллов (оксидов, карбидов, боридов, нитридов и других), а также металлические (проволоки), обладающие высокой прочностью и жесткостью.

Свойства композиционных материалов зависят от состава компонентов, их сочетания, количественного соотношения и прочности связи между ними. Армирующие материалы могут быть в виде волокон, жгутов, нитей, лент, многослойных тканей.

Содержание упрочнителя в ориентированных материалах составляет 60-80 об. %, в неориентированных (с дискретными волокнами и нитевидными кристаллами) – 20-30 об. %. Чем выше прочность и модуль упругости воло-

2 КЛАССИФИКАЦИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ.

2.1 Волокнистые композиционные материалы.

Композиционные материалы с волокнистым наполнителем (упрочнителем) по механизму армирующего действия делят на дискретные, в которых отношение длинны волокна к диаметру $l/d \approx 10 \div 10^3$, и с непрерывным волокном, в которых $l/d \approx \infty$. Дискретные волокна располагаются в матрице хаотично. Диаметр волокон от долей до сотен микрометров. Чем больше отношение длинны к диаметру волокна, тем выше степень упрочнения.

Часто композиционный материал представляет собой слоистую структуру, в которой каждый слой армирован большим числом параллельных непрерывных волокон. Каждый слой можно армировать также непрерывными волокнами, сотканными в ткань, которая представляет собой исходную форму, по ширине и длине соответствующую конечному материалу. Нередко волокна сплетают в трехмерные структуры.

Композиционные материалы отличаются от обычных сплавов более высокими значениями временного сопротивления и предела выносливости (на 50 – 10 %), модуля упругости, коэффициента жесткости (E/γ) и пониженной склонностью к трещинообразованию. Применение композиционных материалов повышает жесткость конструкции при одновременном снижении ее металлоемкости.

Прочность композиционных (волокнистых) материалов определяется свойствами волокон; матрица в основном должна перераспределять напряжения между армирующими элементами. Поэтому прочность и модуль упругости волокон должны быть значительно больше, чем прочность и модуль упругости матрицы. Жесткие армирующие волокна воспринимают напряжения, возникающие в композиции при нагружении, придают ей прочность и жесткость в направлении ориентации волокон.

Композиционные материалы на металлической основе обладают высокой прочностью (σ_B, σ_{-1}) и жаропрочностью, в то же время они малопластичны. Однако волокна в композиционных материалах уменьшают скорость распространения трещин, зарождающихся в матрице, и практически полностью исчезает внезапное хрупкое разрушение. Отличительной особенностью волокнистых одноосных композиционных материалов являются анизотропия механических свойств вдоль и поперек волокон и малая чувствительность к концентраторам напряжения.

Рассмотрим зависимость σ_B и E бороалюминевого композиционного материала от содержания борного волокна вдоль и поперек оси армирования. Чем больше объемное содержание волокон, тем выше σ_B, σ_{-1} и E вдоль оси армирования. Однако необходимо учитывать, что матрица может передавать напряжения волокнам только в том случае, когда существует прочная связь на поверхности раздела армирующее волокно – матрица. Для предотвращения контакта между волокнами матрица должна полностью окружать все волокна =, что достигается при содержании ее не менее 15-20 %.

Матрица и волокно не должны между собой взаимодействовать (должна отсутствовать взаимная диффузия) при изготовлении и эксплуатации, так как это может привести к понижению прочности композиционного материала.

Анизотропия свойств волокнистых композиционных материалов учитывается при конструировании деталей для оптимизации свойств путем согласования поля сопротивления с полями напряжения.

Армирование алюминиевых, магниевых и титановых сплавов непрерывными тугоплавкими волокнами бора, карбида кремния, доборида титана и оксида алюминия значительно повышает жаропрочность. Особенностью композиционных материалов является малая скорость разупрочнения во времени с повышением температуры.

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. Длительная прочность σ_{100} для сплавов САП-1 и САП-2 при 500 °С составляет 45-55 МПа.

Большие перспективы у никелевых дисперсно-упрочненных материалов. Наиболее высокую жаропрочность имеют сплавы на основе никеля с 2-3 об. % двуоксида тория или двуоксида гафния. Матрица этих сплавов обычно γ-твердый раствор Ni + 20 % Cr, Ni + 15 % Mo, Ni + 20 % Cr и Mo. Широкое применение получили сплавы ВДУ-1 (никель, упрочненный двуокисью тория), ВДУ-2 (никель, упрочненный двуокисью гафния) и ВД-3 (матрица Ni +20 % Cr, упрочненная окисью тория). Эти сплавы обладают высокой жаропрочностью. При температуре 1200 °С сплав ВДУ-1 имеет $\sigma_{100} \cong 75$ МПа и $\sigma_{1000} \cong 65$ МПа, сплав ВД-3 - $\sigma_{100} \cong 65$ МПа. Дисперсно-упрочненные композиционные материалы, так же как волокнистые, стойки к разупрочнению с повышением температуры и длительности выдержки при данной температуре.

2.3 Стекловолокниты.

Стекловолокниты – это композиция, состоящая из синтетической смолы, являющейся связующим, и стекловолокнистого наполнителя. В качестве наполнителя применяют непрерывное или короткое стекловолокно. Прочность стекловолокна резко возрастает с уменьшением его диаметра (вследствие влияния неоднородностей и трещин, возникающих в толстых сечениях). Для практических целей используют волокно диаметром 5-20 мкм с σ_P = 600÷3800 МПа и ε = 2÷3,5 %.

Свойства стекловолокна зависят также от содержания в его составе щелочи; лучшие показатели у бесщелочных стекол алюмоборосиликатного состава.

тельной средах до 2200 °С), а также при низких температурах. От окисления поверхности волокна предохраняют защитными покрытиями (пиролитическими). В отличие от стеклянных волокон карбоволокна плохо смачиваются связующим (низкая поверхностная энергия), поэтому их подвергают травлению. При этом увеличивается степень активирования углеродных волокон по содержанию карбоксильной группы на их поверхности. Межслойная прочность при сдвиге углепластиков увеличивается в 1,6-2,5 раза. Применяется вискеризация нитевидных кристаллов TiO_2, AlN и Si_3N_4, что дает увеличение межслойной жесткости в 2 раза и прочности в 2,8 раза. Применяются пространственно армированные структуры.

Связующими служат синтетические полимеры (полимерные карбоволокниты); синтетические полимеры, подвергнутые пиролизу (коксованные карбоволокниты); пиролитический углерод (пироуглеродные карбоволокниты).

Эпоксифенольные карбоволокниты КМУ-1л, упрочненные углеродной лентой, и КМУ-1у на жгуте, висскеризованном нитевидными кристаллами, могут длительно работать при температуре до 200 °С.

Карбоволокниты КМУ-3 и КМУ-2л получают на эпоксианилиноформальдегидном связующем, их можно эксплуатировать при температуре до 100 °С, они наиболее технологичны. Карбоволокниты КМУ-2 и КМУ-2л на основе полиимидного связующего можно применять при температуре до 300 °С.

Карбоволокниты отличаются высоким статистическим и динамическим сопротивлением усталости, сохраняют это свойство при нормальной и очень низкой температуре (высокая теплопроводность волокна предотвращает саморазогрев материала за счет внутреннего трения). Они водо- и химически стойкие. После воздействия на воздухе рентгеновского излучения $\sigma_{изг}$ и E почти не изменяются.

2.6 Бороволокниты.

Бороволокниты представляют собой композиции из полимерного связующего и упрочнителя – борных волокон.

Бороволокниты отличаются высокой прочностью при сжатии, сдвиге и срезе, низкой ползучестью, высокими твердостью и модулем упругости, теплопроводностью и электропроводимостью. Ячеистая микроструктура борных волокон обеспечивает высокую прочность при сдвиге на границе раздела с матрицей.

Помимо непрерывного борного волокна применяют комплексные боростеклониты, в которых несколько параллельных борных волокон оплетаются стеклонитью, предающей формоустойчивость. Применение боростеклонитей облегчает технологический процесс изготовления материала.

В качестве матриц для получения боровлокнитов используют модифицированные эпоксидные и полиимидные связующие. Бороволокниты КМБ-1 и КМБ-1к предназначены для длительной работы при температуре 200 °С; КМБ-3 и КМБ-3к не требуют высокого давления при переработке и могут работать при температуре не свыше 100 °С; КМБ-2к работоспособен при 300 °С.

Бороволокниты обладают высокими сопротивлениями усталости, они стойки к воздействию радиации, воды, органических растворителей и горючесмазочных материалов.

Поскольку борные волокна являются полупроводниками, то бороволокниты обладают повышенной теплопроводностью и электропроводимостью: λ = 45 кДж/(м·К); $\alpha = 4\cdot10^{-6}\,C^{-1}$ (вдоль волокон); $\rho_V = 1{,}94\cdot10^{7}$ Ом·см; ε = 12,6÷20,5 (при частоте тока 10^{7} Гц); tg δ = 0,02÷0,051 (при частоте тока 10^{7} Гц). Для бороволокнитов прочность при сжатии в 2-2,5 раза больше, чем для карбоволокнитов.

3 ИЗГОТОВЛЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ АРМИРОВАННЫХ ВОЛОКНАМИ.

Период 1974-1978 гг. явился началом нового этапа в развитии конструкционных композиционных материалов, армированных волокнами. В области материаловедения это характеризуется завершением изучения «простых» механических свойств композиционные материалы. Созданием методик исследований и испытаний, разработка теоретических основ механического поведения материалов и переходом к стадии широкого комплексного исследования служебных характеристик композиционные материалы при сложных схемах нагружения, наличия концентраторов напряжений, совместном влиянии механических, эксплутационных и климатических факторов. В области технологии проведены разработки технологических процессов изготовления типовых деталей из композиционных материалов. Наметился переход к созданию специализированного технологического оборудования. Задачами на этом этапе явилось создание научных основ технологии и разработка способов управления процессом формирования качественных изделий из композиционных материалов, завершение работ по созданию высокопроизводительного оборудования для изготовления и переработки композиционные материалы. В области проектирования деталей и узлов из композиционные материалы этот этап характеризуется преодолением у конструкторов «психологического барьера» недоверия к новым материалам, началом разработки принципов оптимального проектирования конструкции из композиционные материалы, инженерных методов расчета конструкций с использованием композиционные материалы. В информационной области наблюдается переход к изданиям обобщающего типа. Таковыми являются, например, восмитомная энциклопедия по композиционным материалам, справочник по методам испытаний, свойствам и применению композиционные материалы и др. В эти

4 ИЗГОТОВЛЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПОЛИМЕРНОЙ МАТРИЦЕЙ

50-летний опыт технологической работы со стеклопластиками, показал, что способы изготовления полимерных композиционных материалов с углеродными и борными волокнами в достаточной степени отработаны. Изучены основные механические характеристики угле - и боропластиков, накоплен опыт их опробования и летной эксплуатации в деталях, не являющихся критическими с точки зрения безопасности конструкции. Расширение внедрения композиционных материалов с полимерной матрицей несколько сдерживается недостаточностью знаний о механизме разрушения и свойствах композиционных материалов в условиях, имитирующих реальные условия работы конструкций (наличие концентраторов напряжений, сложная схема нагружения, комплексное воздействие механических нагрузок и температуры, низкоэнергетический удар и т.п.), о влиянии климатических факторов (влаги, солнечной радиации, электричества). В последние годы наблюдается концентрация усилий именно на этих направлениях исследований композиционных материалов с полимерной матрицей.

Основные свойства пластиков, армированных борными и углеродными волокнами, были известны к концу 60-х годов, что обусловило возможность их опробования в различных изделиях. Однако из-за высокой стоимости волокон использование композиционных материалов с полимерной матрицей было возможным лишь в тех отраслях промышленности, в которых огромные затраты на изготовление деталей из композиционных материалов окупались бы при эксплуатации изделий. Именно по этой причине пионером в области использования высокопрочных высокомодульных композиционных материалов с полимерной матрицей стала авиационно-космическая промышленность. В дальнейшем в связи с увеличением объема производства стоимость волокон и композиционных материалов на их основе начала снижаться, что при-

Использование сочетаний стекло- и углепластиков для панелей пола трехслойной конструкции пассажирских самолетов позволило добиться существенного снижения массы: для широкофюзеляжного самолета ИЛ-86 на 400 кг (площадь пола 350 м^2), для самолета ЯК-42 на 100 кг.

Успешное опробование самолетов, изготовленных с использованием КМ, позволило фирмам США сделать вывод о возможности перехода от летных испытаний и демонстрационных полетов к серийному внедрению КМ. В самолете F-16, состав используемых материалов был следующим: 83% алюминиевых сплавов, 2% титановых сплавов, 5 стальных конструкций и 2% новых КМ.

В последние годы возрастает интерес к применению КМ в судостроении. В США, например, возлагаются надежды на использование КМ для суперглубоководных средств. Анализ зависимости возможной глубины погружения от конструктивных характеристик аппарата выявляет преимущества высокопрочных и высокомодульных КМ. Высокая демпфирующая способность последних, сочетающихся с конструкциями из стеклопластиков, полиармированных КМ и т.п., приводит к уменьшению перегрузок, возникающих при взрывах. Малая плотность КМ при обеспечении пожаробезопасности позволяет применять их в архитектуре надводной части судов всех типов, что способствует улучшению устойчивости, уменьшению радиолокационной заметности судов, облегчению эксплуатации корпуса. Одним из интересных применений КМ в судостроении является использование углепластиков для подводных крыльев судов. Для предотвращения влагопоглощения детали плакируются листовым титаном.

Автомобильные фирмы США (Ford и General Motors) прорабатывают вопросы применения КМ в конструкции автомобилей. Так, например, изучена конструкция ведущего вала двигателя из углепластиковой трубки, охватывающей стальной сердечник.

тормозится внутренними поверхностями раздела (матрица-волокно), а сам материал при этом не теряет своей несущей способности.

Взаимодействие компонентов при изготовлении КМ с металлической матрицей проходит, как правило, при высоких температурах и значительных давлениях, что необходимо для обеспечения пропитывания матричным сплавим капиллярно-пористого каркаса из армирующих волокон и формирования монолитного материала. Комплекс физико-химических явлений, составляющих процесс взаимодействия компонентов КМ, обусловливает формирование связи между компонентами, с одной стороны и изменение их свойств - с другой. Совместимыми следует считать компоненты, на границе которых возможно достижение прочности связи, близкой к когезионной прочности матрицы, при сохранении высоких начальных значений их механических свойств. Максимально достижимая величина характеристических параметров может быть принята за оценку совместимости компонентов КМ. Это обстоятельство и определило, по всей вероятности, опережающее развитие боралюминия - наиболее близкого к стадии внедрения металлического КМ. Следует отметить, что совместимость других волокон с металлическими матрицами может быть улучшена за счет изменения формы сечения, размеров и свойств поверхности волокна, применения защитных покрытий на волокнах или матричных сплавов оптимального состава и т.п. Решение проблемы совместимости для конкретной пары компонентов может привести к бурному развитию соответствующего КМ.

КМ с полимерной матрицей, армированной высокомодульными и высокопрочными волокнами, в последние годы прошли стацию опробования в различных изделиях современной техники и вступили в стадию широкого внедрения. Расширение внедрения КМ несколько сдерживается недостаточностью знаний по влиянию комплекса внешних воздействий на работоспособность конструкций из КМ. Таким образом, основной задачей в ближайшие годы будет повышение эксплуатационной надежности и работоспособ-

- необходимость создания инженерных методов расчета деталей и узлов из КМ;
- создание методов неразрушающего контроля;
- продолжение и расширение исследований работоспособности деталей и узлов из КМ при комплексном воздействии служебных и климатических факторов;
- стабилизация и усовершенствование технологии с целью уменьшения вариации свойств КМ и снижения трудоемкости изготовления деталей;
- удешевление армирующих волокон и самих КМ;
- дальнейшее повышение свойств КМ и их эксплуатационной надежности, в частности, за счет повышения прочности связи на границе раздела компонентов КМ[3].

В композиционном материале ”фарфор–никелид титана” компоненты слабо взаимодействуют и после спекания контакты между керамической и металлической составляющей ослаблены. При нагружении они разрываются в первую очередь, и упругое восстановление объема растет. В результате деформация является обратимой, и композит проявляет свойства, подобные сверхэластичности. Биосовместимость композиционного материала ”стоматологический фарфор–никелид титана” изучалась гистологическим методом, оценивая реакцию тканей у крыс на имплантацию под кожу передней брюшной стенки образцов из композиционного материала и из фарфора. Характер тканевых реакций, их распространенность и особенности клеточных изменений в обоих случаях оказались однозначными. Таким образом, было показано, что композиционные материалы ”биокерамика–никелид титана” являются биосовместимыми[5].

Изделия из бороволокнитов применяют в авиационной и космической технике (профили, панели, роторы и лопатки компрессоров, лопасти винтов и трансмиссионные валы вертолетов и т. д.).

Органоволокниты применяют в качестве изоляционного и конструкционного материала в электрорадиопромышленности, авиационной технике, автостроении; из них изготовляют трубы, емкости для реактивов, покрытия корпусов судов и другое.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Безрукова В.С. Химия. Екатеринбург, 2003. С.273
2. Лахтин Ю. М., Леонтьева В. П. Материаловедение: Учебник для высших технических заведений. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2002.
3. Материалы будущего: перспективные материалы для народного хозяйства. Пер. с нем./ Под ред. А. Неймана. – Л.: Химия, 2003.
4. Тарнопольский Ю. М., Жигун И. Г., Поляков В. А. Пространственно-армированные композиционные материалы: Справочник. – М.: Машиностроение, 2004.
5. Энциклопедия по химии. Том 17. Химия /Глав. ред. В. А. Володин. – М.: Аванта, 2001. – 640 с.: ил.
6. И.Г. Хомченко «Общая химия», М. Химия, 2002
7. Г.П. Хомченко «Химия для поступающих в Вузы», М.Высшая школа, 2003