

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

- ДУК — дисперсно-упрочненные композиты.
ВК — волокнистые композиты.
СК — слоистые композиты.
КМ — керамические материалы.
КР — кристаллическая решетка.
РФА — рентгенофазовый анализ.
ОКР — область когерентного рассеяния.
ПЭМ — просвечивающая электронная микроскопия.
ПИМ — полевая ионная микроскопия.
РЭМ — растровая электронная микроскопия.
СЭМ — сканирующая электронная микроскопия.
СТМ — сканирующая туннельная микроскопия.
АСМ — атомно-силовая микроскопия.
Т — температура подложки.
МР — магнетронное распыление.
ЭДИ — электродуговое испарение.
УЗО — ультразвуковая обработка.
ЭЯ — электрохимическая ячейка.
РЭ — рабочий электрод.
ЭС — электрод сравнения.
ВС — вспомогательный электрод.

ВВЕДЕНИЕ

В условиях развития современного машиностроения и материаловедения происходит постепенное замещение традиционных материалов и технологий на новые прогрессивные, демонстрирующие лучшие физико-механические свойства, эксплуатационные характеристики при меньших затратах на технологию их получения или производства. Студентам машиностроительных направлений подготовки при освоении образовательной программы необходимо знать современные направления развития в области материалов и использования новых технологий для их диагностики. В связи с этим в учебном процессе для студентов всех форм обучения по направлению «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» предусмотрено выполнение практических занятий, посвященных изучению композиционных и наноструктурированных материалов, а также методов исследования и диагностики их свойств.

Изучение физико-механических свойств дисперсно-упрочненных волокнистых, слоистых композиционных и керамических материалов позволяет сформировать навыки определения групп материалов со схожими характеристиками, позволяющими решать заданную производственную задачу, назначения и выбора материалов для конструктивных решений. Рентгеноструктурный контроль дефектности и анализ микроструктуры являются ключевыми методами диагностики материалов, помогающими сделать заключение о пригодности использования новых материалов по прямому назначению. Отдельные группы изделий машиностроения подвержены коррозионному разрушению. В связи с этим изучение методов исследования коррозионной стойкости наноструктурированных материалов является весьма актуальной задачей специального машиностроения.

Для выполнения практических работ по дисциплине «Новые материалы и технологии» нужно овладеть курсом «Материаловедение», понимать принципиальные различия между группами материалов, знать их классификацию. Кроме того, следует приобрести навыки по проведению микроструктурного анализа, анализа фазового состава.

Учебно-методическое пособие посвящено выполнению практических работ по новым материалам и технологиям, содержит примеры выполнения и представления результатов выполнения в отчете по работе. Пособие включает в себя иллюстративный и текстовый материал, который в комплексе помогает выполнить все этапы практических работ.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 1. АНАЛИЗ И СРАВНЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДИСПЕРСНО-УПРОЧНЕННЫХ ВОЛОКНИСТЫХ И СЛОИСТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С КЕРАМИЧЕСКИМИ МАТЕРИАЛАМИ

Цель работы: изучить физико-механические свойства дисперсно-упрочненных волокнистых, слоистых композиционных и керамических материалов, провести сравнительный анализ и определить область применения материалов.

Краткие теоретические сведения

Композиционными материалами (композитами) называются материалы, в которых присутствуют две, три и более разнородные фазы. Отличительными особенностями композита от других групп материалов является наличие четких границ раздела между фазами и гетерогенность по химическому составу и структуре. Сочетание разнородных компонентов в композите позволяет получить совершенно новый материал, который обладает требуемыми свойствами и эксплуатационными характеристиками. Синергетический эффект обусловлен сохранением индивидуальных особенностей каждого входящего в состав компонента [1].

Именно необходимость улучшения свойств исходных компонентов: повышение удельной прочности, химической стойкости, жаропрочности, теплостойкости, сопротивления абразивному воздействию, жесткости, послужила целью для создания композитов. Принципиально новые возможности материалов позволяют создавать ранее недоступные новые конструкции [2].

Стоимость композитов, обладающих заданными свойствами, достаточно высока и обусловлена сложностью технологии их получения и стоимостью самих компонентов. Однако преимущества, получаемые производством, от их применения в виде снижения трудоемкости процессов сборки за счет уменьшения количества деталей, технологических разъемов и сборочных операций в целом участвующих в сборочном процессе экономически оправданы.

Композиты используются в производстве авиационной, космической, ракетной техники, стволов артиллерийских орудий, автомобилей, бурового инструмента и машин, объектов железнодорожного транспорта, огнеупоров, пролетов мостов, ферм, судов, подводных лодок, цистерн, трубопроводов, деталей текстильной промышленности и бытовой техники [3].

Композиты состоят из матрицы и наполнителя. Матрица является основным компонентом композита, на ее долю приходится не менее 50% объема композита. Матрица композита может быть полимерной (полимерные композиты), металлической (металлические композиты), керамической (керамические композиты), углеродной и др. Именно матрица фиксирует наполнитель, придает форму, распределяет напряжения в объеме материала и передает внешние нагрузки. Она формирует такие эксплуатационные характеристики, как плотность и удельная прочность, рабочая температура, сопротивление разрушению и воздействию окружающей среды. Кроме того, свойства материала матрицы определяют технологический процесс получения всего композита. На сегодняшний день созданы композиты с комбинированными матрицами, которые получили название полиматричные. В таких композитах матрица состоит из чередующихся слоев различного химического состава. Полиматричный композит обладает более широким спектром необходимых свойств. Например, в полиматричном композите на основе алюминия и титана увеличивается прочность материала в направлении, перпендикулярном оси волокон (свойства титана) при одновременном уменьшении плотности материала (свойства алюминия).

Наполнитель выполняет функцию упрочняющего или армирующего компонента, передает свои физико-механические свойства готовому изделию и воспринимает большую часть нагрузки, заданной композиту. Именно поэтому к наполнителям предъявляют требования высокой прочности, твердости и модуля упругости, по которым они значительно превосходят матрицу. Свойства композита также зависят от формы, размера, количества и характера распределения наполнителя.

В объеме матрицы наполнитель всегда имеет необходимую пространственную ориентацию и отделен от матрицы поверхностью раздела.

Поверхность раздела отличается по физико-химическому составу и свойствам от матрицы и наполнителя. Она влияет на эффективность армирования композита тем или иным наполнителем, оказывает значимое влияние на свойства всего композита, поскольку обеспе-

чивает связь матрицы и наполнителя и выполняет функцию передачи нагрузок между составляющими композита. Например, такие характеристики композита, как поперечная прочность, прочность на растяжение и сжатие, вязкость, определяются прочностью границы раздела. Предпочтительны к применению композиты с малой толщиной границы раздела (менее 0,5 мкм) ввиду того, что такая граница имеет меньшую склонность к распространению поперечных трещин и разрушению наполнителя [4].

Свойства композитов определяются достоинствами компонентов, а не их недостатками, численно представлены усредненными характеристиками материалов матрицы и наполнителя. В процессе разработки и получения новых композитов разработчики используют компоненты с различающимися, но дополняющими друг друга свойствами. Если свойства компонентов значительно отличаются, то изменение свойств всего композита может быть более сложным, чем простое усредненное значение характеристик материалов матрицы и наполнителя.

В целом свойства композитов выражены следующими характеристиками:

- высокая механическая прочность и жесткость;
- небольшой удельный вес;
- высокая стойкость к ударным и вибрационным нагрузкам;
- высокие теплоизоляционные свойства;
- износостойкость;
- длительный ресурс эксплуатации.

Среди недостатков композитов существенное значение имеют высокая стоимость их производства и невысокая ремонтпригодность.

Классификация композитов

Классификация композитов проводится по ряду признаков: природе компонентов композита, структуре, геометрии компонентов, их количеству, расположению и методу получения (рис. 1). Существует также классификация композитов по назначению.

Практическое применение имеет классификация композитов по форме наполнителя: порошковые и гранулированные (дисперсно-упрочненные), волокнистые и слоистые (рис. 2).

В порошковом и гранулированном композите дисперсные включения равномерно распределены в матрице на равных расстояниях и задаются объемной долей. Волокна или нити в волокнистых композитах могут располагаться как структурированно, так и хаотично. При структурированной укладке волокон расстояние между ними имеет заданный шаг, а при хаотичной укладке расстояния между со-

седними отрезками волокон определяются их объемным содержанием. Структура слоистых композитов представлена чередующимися слоями-наполнителями и матричными слоями, большими по толщине. Объемная доля наполнителя задается соотношением толщин матричного слоя и слоя-наполнителя [5].

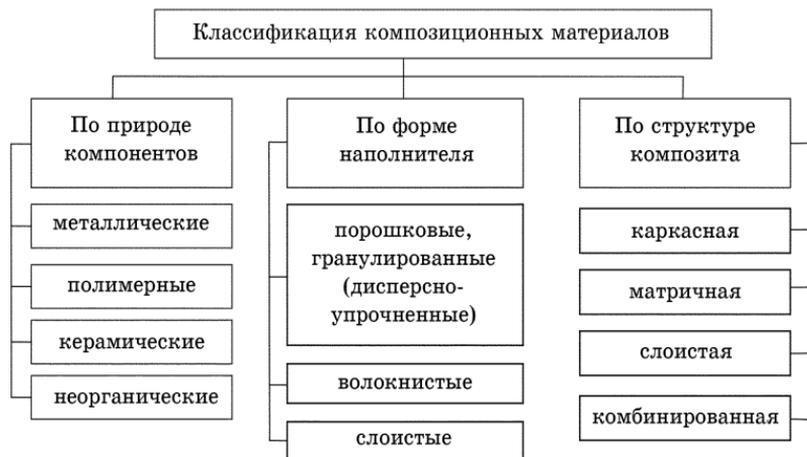


Рис. 1

Классификация композитов

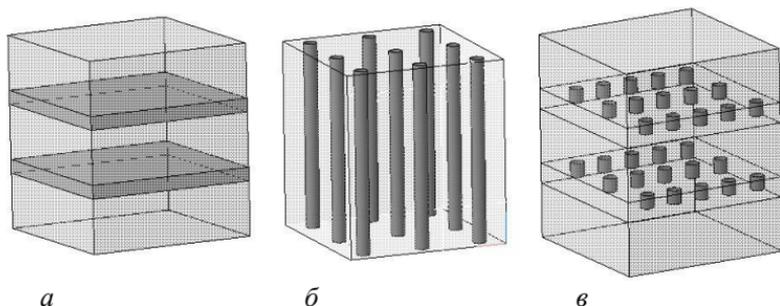


Рис. 2

Классификация композитов по форме наполнителя:

a — порошковые и гранулированные; *б* — волокнистые; *в* — слоистые.

Дисперсно-упрочненные композиты (ДУК)

В ДУК наполнителями служат мелкодисперсные частицы тугоплавких фаз оксидов, нитридов, боридов, карбидов имеющих малую плотность и невысокий модуль упругости (Al_2O_3 , SiO_2 , BN, SiC и др.). Дисперсно-упрочненные композиты получают методами по-

рошковой металлургии, обеспечивающими изотропность свойств композита в разных направлениях. Ограниченно применяют метод непосредственного введения наполнителей в жидкий сплав перед разливкой с последующей ультразвуковой обработкой (УЗО). УЗО жидкого расплава композита используется для очистки от загрязнений, улучшения смачиваемости частиц жидким металлом и равномерного распределения их в матрице.

Основная нагрузка в ДУК воспринимается матрицей, а дисперсные частицы наполнителя оказывают сопротивление движению дислокаций при нагружении материала, препятствуют развитию пластической деформации. При этом прочность такого композита прямо пропорциональна величине сопротивления движению дислокаций и зависит от объемного содержания упрочняющей фазы, равномерности ее распределения, степени дисперсности и расстояния между частицами. В ДУК используются частицы с размером 10–500 нм при расстоянии между ними 100–500 нм. Дисперсные частицы наполнителя выступают в роли препятствия процессам скольжения и рекристаллизации в матрице и оказывают вспомогательное упрочняющее действие.

Основное преимущество ДУК заключается в изотропности свойств. Дисперсно-упрочненные композиты на основе тугоплавких соединений имеют высокие значения модуля упругости, низкую плотность и не вступают в реакцию с материалами матриц. Композиты на основе оксидов алюминия и кремния ввиду недефицитности в природе имеют невысокую стоимость. Дисперсно-упрочненные композиты на алюминиевой основе: спеченная алюминиевая пудра (САП) и спеченные алюминиевые сплавы (САС) имеют высокую прочность (в том числе при температурах до 500°С), которая объясняется большой дисперсностью фазы Al_2O_3 . Нерастворимость в алюминии частиц Al_2O_3 обеспечивает высокую термическую стабильность, жаропрочность и коррозионную стойкость САП и САС.

Композиты на основе оксидов алюминия получили широкое применение в промышленности ввиду хорошей деформируемости в горячем состоянии, обрабатываемости резанием и свариваемости. Заготовки из этих композитов характеризуются отсутствием литейных дефектов и мелкозернистой структурой с равномерным распределением фаз. Среди дисперсно-упрочненных композитов практическое применение также получили композиты на никелевой, магниевой основе, упрочненные частицами оксидов тория, иттрия, гафния [5].

Физико-механические свойства дисперсно-упрочненных композитов обуславливают их применение в следующих областях промышленности (табл. 1):

— авиастроение: обшивка самолета, лонжероны, панели, лопасти компрессора, турбины, высоконагруженные детали космической техники;

— автомобилестроение: детали кузовов, рессор, рам, панелей кузовов, бамперов;

— горная промышленность: буровой инструмент, детали комбайнов;

— строительство: пролеты мостов, элементы высотных сооружений.

Таблица 1

Физико-механические свойства дисперсно-упрочненных композитов [5]

Материал	Матрица/ наполнитель	Предел временного сопротивления при растяжении σ_b , МПа	Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа	Относительное удлинение δ , %	Модуль упругости E , ГПа
САП-1	Al/Al ₂ O ₃ (6–8%)	300	220	7	67
САП-2	Al/Al ₂ O ₃ (9–12%)	350	280	5	71
САП-3	Al/Al ₂ O ₃ (13–17%)	400	320	3	76
САП-4	Al/Al ₂ O ₃ (18–22%)	450	370	1,5	80
САС-1	Al/Si (30%); Ni (7%)	260	—	1,5	—
САС-2	Al/Si (30%); Fe (7%)	235	—	1	—
САС-3	Al/Si (30%); Cr (7%)	280	—	0,6	—
САС-4	Al/Si (15%); SiC (25%)	230	—	5	—
ВДУ-1	Ni/ThO ₂	570	410	20–24	—
ВДУ-2	Ni/HfO ₂	500	500	20–24	—
ВДУ-3	Никелево-хромовый раствор/HfO ₂	850	—	—	—

Волокнистые композиты (ВК)

Волокна или нити в волокнистых композитах составляют большую объемную долю: 80–90%. Их изготавливают из металла, керамики, полимеров: В, С, Al₂O₃, SiC, Мо, W, сталь и др. Наибольшее

распространение в практике создания композитов получили стеклянные, углеродные, борные и органические волокна. Среди основных требований, предъявляемых к волокнам: прочность, жёсткость, термическая стабильность, химическая стойкость и технологичность.

Геометрические параметры волокон (диаметр и длина) оказывают существенное влияние на свойства ВК. Большее влияние на свойства оказывает длина волокна, с увеличением которой происходит повышение уровня напряжений. Таким образом, чем тоньше и длиннее волокно, тем выше степень упрочнения ВК. Однако для волокнистых композитов, существует критическая длина волокна, при достижении которой напряжение в волокне достигает максимального значения и не меняется при дальнейшем его увеличении.

Короткие, длинные и непрерывные волокна находят свое применение:

— короткие волокна (0,2–14 мм): изготовление термопластичных материалов, литьевой оснастки;

— длинные волокна (15–70 мм): получение изделий методом прессования;

— непрерывные волокна: создание высокопрочных армированных полимеров.

Схема армирования композитов также оказывает влияние на их свойства и направление восприятия нагрузки. Например, при приложении к композиту растягивающих нагрузок вдоль волокон временное сопротивление на разрыв и модуль упругости композита будут иметь наибольшие значения, наименьшие значения — при приложении нагрузки в поперечном направлении. Двухосное армирование с взаимно перпендикулярным расположением волокон позволяет избежать подобной анизотропии свойств. Однако двухосное армирование приводит к снижению прочности композита при сжатии и сдвиге почти в 3 раза. Поэтому при изготовлении деталей из композитов волокна ориентируют так, чтобы обеспечить требуемые свойства с учетом действующих в конструкции нагрузок.

Матрица волокнистого композита служит средой для передачи усилий, обеспечивает его монолитность, фиксирует взаимное положение волокон. Основными материалами для матриц являются алюминий, магний, титан, жаропрочный никель, полимеры, керамические материалы. Матрица определяет термостойкость композита, стойкость к ударным нагрузкам и усталостному разрушению, прочность на сдвиг. Для получения заданных свойств ВК необходима совместимость материала волокон с матричным материалом. Наибольшие трудности возникают при создании композитов на основе металличе-

ской матрицы, поскольку большинство волокон несовместимы с металлами. Совместимыми можно считать компоненты, на границе которых возможно достижение прочной связи, близкой к прочности матрицы. Высокой совместимостью обладают стеклянные, углеродные, борные, органические волокна [5–7].

Волокнистые композиты с полимерной матрицей

Стеклопластики

Стеклопластики — волокнистые композиты армированные стеклянными волокнами, получили в настоящее время широкое распространение [6; 7]. В стеклопластиках чаще всего используют непрерывные стеклянные волокна в виде нитей, тканей, рубленых волокон. Связующим являются преимущественно термоактивные смолы (полиэфирные, фенолформальдегидные, эпоксидные, полиимидные), а также термостойкие термопласты — ароматические полиамиды, полисульфоны, поликарбонаты. Для стеклопластиков электротехнического назначения используют связующие с высокими диэлектрическими характеристиками, например кремнийорганические и эпоксидные смолы.

Стеклопластики обладают следующими положительными характеристиками:

- высокая механическая прочность;
- хорошая обрабатываемость;
- температурная устойчивость;
- стойкость к циклическим нагрузкам;
- рентгенопрозрачность;
- высокие диэлектрические показатели;
- коррозионная стойкость;
- небольшой удельный вес;
- относительно низкая стоимость производства.

Среди отрицательных характеристик стеклопластика выделяют:

- хрупкость;
- подверженность абразивному износу (требуется защита поверхности);
- образование канцерогенной пыли при механической обработке.

Физико-механические характеристики стеклопластика (табл. 2) обуславливают его востребованность в различных видах производства.

1. Судостроение и авиастроение: изготавливают корпуса малотоннажных судов, весельные и моторные лодки, спасательные шлюпки, яхты, скутеры, катамараны, ванны, искусственные пруды, бассейны. Кроме непосредственно каркасов судов из стеклопластика из-

готовляют конструкции палуб и кабин, крылья, ходовые мосты, крышки люков и двигателей.

2. Автомобильная промышленность: изготавливают детали кузовов, бамперов, кабин и кузовного обвеса, конструкции крепления багажа, детали интерьера салона.

3. Строительство: изготавливают сооружения водоснабжения и канализации, трубопроводы высокого давления и ливневых коллекторов больших диаметров, фундаменты и стены, элементы садов, лепнины и декоративных украшений, дверные и оконные системы.

4. Энергетика: изготавливают изоляторы, крышки корпусов электротехнического и коммутационного оборудования, элементы высоковольтных пускателей, детали шкафов управления, щитов и ячеек, строительные конструкции электропомещений, такие как диэлектрические настилы, ограждающие панели и короба, плиты фальшполов, перекрытия кабельных этажей и каналов.

Таблица 2

Физико-механические свойства волокнистых композиционных материалов: стеклопластики [7; 8]

Марка стеклопластика	Предел временного сопротивления при растяжении σ_v , МПа	Предел прочности при изгибе $\sigma_{из}$, МПа	Удельная ударная вязкость, кгс/см ²	Теплостойкость, °С
ПН-1	270–300	190–270	255–295	88–100
ПН-3	250–275	180–260	240–290	180–185
ПН-4	270–345	200–345	135–315	146–200
Норпол420-М750	110–130	170–220	—	80
ВПС-33	600	710	—	100
СТ-69Н	550	865	—	80
ЭФ 32-301	430–480	170	—	100–300
АГ-4В	80	120	300	—
ДСВ-2-Р-2М	100	230	600	—
СК-9Ф	370	260	—	370
27-63С	900	700	—	—
СВАМ	260	220	—	—

Органопластики

Органопластики — материалы, армированные арамидными волокнами. Волокна изготавливают в виде ткани, пряжи, ровнинга, мо-

жет быть с ворсом и без него. Арамидные волокна и органопластики на их основе обладают комплексом уникальных свойств:

- высокие значения прочности, модуля упругости ударной вязкости;
- стойкость к высокотемпературным воздействиям;
- стойкость к растворителям, акустическому воздействию и эрозии;
- технологичность;
- высокие диэлектрические свойства;
- пожаробезопасность;
- самый низкий вес из всех композитов;
- длительный ресурс эксплуатации;
- стойкость;
- высокие эстетические качества.

Основным недостатком органопластиков считается повышенное водопоглощение. Свойства органопластиков представлены в таблице 3.

Органопластики применяют в авиационной технике и ракетостроении для изготовления деталей, работающих на удар, растяжение, температурное воздействие: корпуса ракетных двигателей, экраны тепловой защиты, сосуды под давлением, обшивка салонов самолетов, вертолетов, корпуса судов, автомобилей, бронежилеты, каски [9].

Таблица 3

Физико-механические свойства органопластиков [9–14]

Материал	Предел временного сопротивления при растяжении σ_b , МПа	Прочность на сжатие $\sigma_{сж}$, МПа	Прочность на изгиб $\sigma_{и}$, МПа	Модуль упругости E, ГПа	Водопоглощение за 90 сут, %
Конструкционные органопластики					
Органит 12Т	880	213	467	34,5	1,75
Органит 11Т	670–680	—	510–520	30,5	10
ВКС-14-2М	1300–1900	—	—	50–100	1–1,5
Ударостойкие органопластики					
ВКО-2ТБ	670	—	60	3,6	—
ВКО-20	676	39	41	8,1	—

Звукопоглощающие органопластики				
Материал	σ_b, МПа	T, °C	Коэффициент звукопоглощения	
Органит 15ТМ	450	до 150	0,8–1	
Антифрикционные органопластики				
Материал	Коэффициент трения μ	Прочность при отслаивании, Н/м	Скорость скольжения, м/с	Рабочая температура T, °C
АФ-1-МР-260	0,08–0,12	1200–1800	0,2	до 200
ВАП-8	0,1–0,15	> 1200	0,12	до 200

Углепластики

Углепластики — композиты на основе высокопрочных переплетенных нитей, жгутов, тканей из углеродного волокна. Углеродное волокно может быть представлено в виде углеродных нитей, имеющих очень малый диаметр (0,005–0,010 мм), или углеродных нанотрубок с диаметром в несколько десятков нанометров.

Матрицы углепластиков изготавливают из эпоксидных, полиамидных, полиэфирных смол. Эпоксидная матрица обеспечивает высокую прочность, водостойкость и химическую стойкость. Полиамидные и полиэфирные матрицы находят применение при работе композита в условиях высоких температур (до 300°C), однако их изготовление затруднено получением полуфабрикатов, требующих высоких температур отверждения.

Физико-механические свойства углепластиков определяются видом углеродных волокон и свойствами матрицы [15] (табл. 4):

- длительная прочность и жесткость;
- низкая ползучесть;
- высокая усталостная прочность (в 1,5–2 раза выше, чем у сталей, в 8–9 раз выше, чем у алюминиевых сплавов);
- термостойкость;
- морозоустойчивость;
- коррозионная стойкость;
- теплопроводность;
- технологичность;
- радиационная устойчивость.

Конец ознакомительного фрагмента.
Приобрести книгу можно
в интернет-магазине
«Электронный универс»
e-Univers.ru