

5. КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ОСНОВЕ. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

Цель работы: изучение структуры и механических свойств КМ на металлической основе.

Задание: изучить воздействие упрочнителей на механические свойства КМ с различной металлической основой.

5.1. Общие сведения

Преимуществом КМ на металлической основе являются более высокие значения характеристик, зависящих от свойств матрицы. Это, прежде всего временное сопротивление и модуль упругости при растяжении в направлении, перпендикулярном оси армирующих волокон, прочность при сжатии и изгибе, пластичность, вязкость разрушения. Кроме того, КМ с металлической матрицей сохраняют свои прочностные характеристики до более высоких температур, чем многие материалы с неметаллической основой. Они более влагостойки, негорючи, обладают электрической проводимостью.

Наиболее перспективными материалами для матриц металлических КМ являются металлы, обладающие небольшой плотностью (Al, Mg, Ti), и сплавы на их основе, а также никель - широко применяемый в настоящее время в качестве основного компонента жаропрочных сплавов. Свойства некоторых КМ на металлической основе приведены в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Механические свойства одноосно-армированных КМ с металлической матрицей

КМ	Матрица	Наполнитель		ρ , т/м ³	км	Я.ГПа	E _{lign} -10 ⁹ , км	σ_m МПа (20°С)	σ_b МПа (на базе 10 ⁷ циклов)
		Материал	Количество, % (об.)						
ВКА-1	Алюминий	Борное волокно	50	2,65	45	240	9	1200	600
ВКУ-1	»	Углеродное волокно	30-40	2,2-2,3	42	270	12	900-1000	200
КАС-1	»	Стальная проволока	40	4,8	33	120	2	1600	350
ВКМ-3	Магний	Борное волокно	45	2,2	57	200	9	1250	—

5.2. Композиционные материалы с алюминиевой матрицей

Нашедшие промышленное применение КМ с алюминиевой матрицей в основном армируют стальной проволокой, борным и углеродными волокнами. В качестве матрицы используют как технический алюминий (например, АД1), так и сплавы (АМгб, В95, Д20 и др.).

Применение в качестве матрицы сплава (например, В95), упроченного термообработкой (закалка и старение), дает дополнительный эффект упрочнения КМ. Механические свойства КМ алюминиевый сплав - 50 % объема борные волокна без термической обработки (числитель) и после нее (знаменатель) приведены ниже:

	Вдоль волокон	Поперек волокоп
σ , МПа	1580/1670	137/259
E , ГПа	232/239	141/148

Примечание. Временное сопротивление матрицы (Al—1 %, Mg—0,6 %, Si 0,2 % Cr) до термической обработки составляло 130 МПа, после - 320 МПа.

Видно, что в направлении оси волокон эффект упрочнения невелик, тогда как в поперечном направлении, где свойства определяются в основном свойствами матрицы, он достигает 50 %.

Наиболее дешевым, достаточно эффективным и доступным армирующим материалом является высокопрочная стальная проволока. Например, армирование технического алюминия проволокой из стали ВНС9 диаметром 0,15 мм ($\sigma_s = 3600$ МПа) увеличивает его σ_s в 10-12 раз при содержании волокна 25 % объема, после чего σ_s достигает соответственно 1000-1200 и 1450 МПа. Если для армирования использовать проволоку меньшего диаметра, т. е. большей прочности ($\sigma_s = 4200$ МПа) σ_s КМ увеличится до 1750 МПа. Таким ооразом, алюминии, армированной стальной проволокой (iS—41) % ооъема), по основным свойствам значительно превосходит даже высокопрочные алюминиевые сплавы и выходит на уровень соответствующих свойств титановых сплавов. При этом плотность композиций находится в пределах 3,9...4,8 т/м³.

Упрочнение алюминии и его сплавов более дорогими волокнами В, С, Al₂O₃ повышает стоимость КМ, но при этом улучшаются некоторые его свойства. Например, при армировании борными волокнами модуль упругости увеличивается в 3-4 раза, углеводородные волокна способствуют снижению плотности. На рис. 5.1 показано влияние объемного содержания волокон бора V_b на прочность и жесткость композиции «алюминий-бор»

$V_b, \%$ (объемн.)	0	10	20	30	40	50
σ_s , МПа	70–140	300–380	500–650	700–900	900–1140	1100–1400
E , ГПа	70	105	135	180	190–200	200–257

Бор мало разупрочняется с повышением температуры, поэтому КМ, армированные борными волокнами, сохраняют высокую прочность до 400-500 °С. Промышленное применение нашел материал ВКА-1, содержащий 50 % объема непрерывных высокопрочных и высокомодульных волокон бора. По модулю упругости и временному сопротивлению в интервале 20-500 °С он превосходит все стандартные алюминиевые сплавы, в том числе

высокопрочные В95, и сплавы, специально предназначенные для работы при высоких температурах (например, АК4-1). Наглядно это представлено на рис. 5.2. Высокая демпфирующая способность материала обеспечивает вибропрочность изготовленных из него конструкций. Плотность КМ ВК4-1 равна 2,65 т/м³, а удельная прочность - 45 км. Это значительно выше, чем у высокопрочных сталей и титановых сплавов.

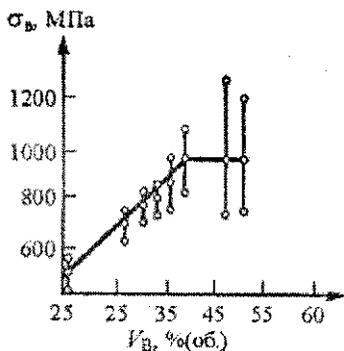


Рис. 5.1. Зависимость временного сопротивления борноалюминиевых листов от объемного содержания борных волокон

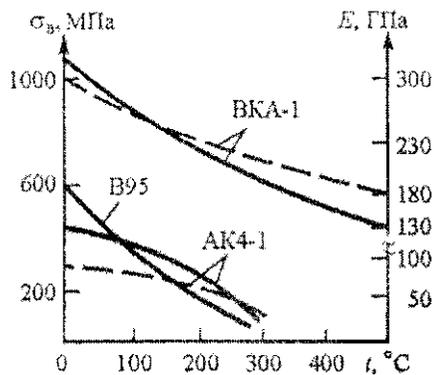


Рис. 5.2. Зависимость временного сопротивления (сплошные линии) и модуля упругости (штриховые линии)

Расчеты показали, что замена сплава В95 на титановый сплав при изготовлении лонжерона крыла самолета с подкрепляющими элементами из ВКА-1 увеличивает его жесткость на 45 % и дает экономию в массе около 42 %. КМ на алюминиевой основе, армированные углеродными волокнами (ВКУ), дешевле и легче, чем материалы с борными волокнами. И, хотя они уступают последним по прочности, их удельные прочности близки. Однако, изготовление КМ с углеродным упрочнителем связано с большими технологическими трудностями вследствие взаимодействия углерода с металлическими матрицами при нагреве, вызывающего снижение прочности материала. Для устранения этого недостатка применяют специальные покрытия углеродных волокон.

5.3. Композиционные материалы на магниевой основе

Материалы с магниевой матрицей характеризуются меньшей плотностью (1,8-2,2 т/м³), чем с алюминиевой, при почти такой же высокой прочности (1000-1200 МПа) и поэтому более высокой удельной прочностью. Деформируемые магниевые сплавы (МА2 и др.), армированные борным волокном (50 % объема) имеют более высокую прочность. Хорошая совместимость магния и его сплавов с борным волокном, с одной стороны, позволяет изготовить детали методом пропитки практически без последующей механической обработки, с другой - обеспечивает большой ресурс работы

деталей при повышенных температурах. Удельная прочность этих материалов повышается благодаря применению в качестве матрицы сплавов, легированных легким литием, а также в результате использования более легкого углеродного волокна. Как уже отмечалось, введение углеродного волокна усложняет технологию производства сплавов. Как известно, магний и его сплавы обладают низкой технологической пластичностью, склонностью к образованию рыхлой оксидной пленки.

5.4. Композиционные материалы с титановой матрицей

При создании КМ на титановой основе встречаются трудности, вызванные необходимостью нагрева до высоких температур. При таких температурах титановая матрица становится очень активной; она приобретает способность к газопоглощению, взаимодействию с многими упрочнителями: бором, карбидом кремния, оксидом алюминия и др. В результате образуются реакционные зоны, снижается прочность как самих волокон, так и КМ в целом. Кроме того, высокие температуры приводят к рекристаллизации и разупрочнению многих армирующих материалов, что снижает эффект от армирования. Поэтому для упрочнения материалов с титановой матрицей используют проволоку из бериллия и керамических волокон тугоплавких оксидов (Al_2O_3), карбидов (SiC), а также тугоплавких металлов, обладающих оольшим модулем упругости и высокой температурой рекристаллизации (*мо*, *W*). Причем целью армирования является в основном не повышение и без того высокой удельной прочности, а увеличение модуля упругости и рабочих температур. Механические свойства титанового сплава ВТ6 (6 % Al, 4 % V, остальное Ti), армированного волокнами *Мо*, *Ве* и *SiC* представлены в табл. 5.2. Видно, что наиболее эффективно удельная жесткость повышается при армировании волокнами карбида кремния.

Таблица 5.2

Механические свойства КМ на основе сплава ВТ6

Упрочнитель	Содержание упрочнителя, % (об)	ρ , т/м ³	σ_b , МПа в скобках σ_b упрочнителя	$\sigma_b/(\rho g)$, км	<i>E</i> , ГПа	$E/(\rho g) \cdot 10^{-3}$, км
Мо	30	6,25	1400 (2300)	22	200	3,2
Ве	33	—	1050 (1050)	—	168	—
SiC	25	4,3	910 (2550)	23	210	5

Армирование сплава ВТ6 молибденовой проволокой способствует сохранению высоких значений модуля упругости до 800 °С. Его значение при этой температуре соответствует 124 ГПа, т. е. снижается на 33 %, тогда как временное сопротивление при этом уменьшается до 420 МПа, т. е. более чем в 3 раза.

5.5. Композиционные материалы с никелевой матрицей

Основная задача при создании КМ на никелевой основе заключается в повышении рабочих температур до 1000 °С и более. И одним из лучших металлических упрочнителей, способных обеспечить хорошие показатели прочности при столь высоких температурах, является вольфрамовая проволока. Введение вольфрамовой проволоки в количестве от 40 до 70 % объема в сплав никеля с хромом обеспечивает σ_{100}^{1000} в пределах 130-250 МПа, тогда как лучший неармированный никелевый сплав, предназначенный для работы в аналогичных условиях, имеет $\sigma_{100}^{1000} = 75$ МПа. Использование для армирования проволоки из сплавов вольфрама с рением или гафнием увеличивает этот показатель на 30-50 %.

Вопросы

1. Какими преимуществами обладают металлические матрицы?
2. Назовите перспективные материалы для матриц КМ.
3. Что представляют собой КМ с алюминиевой матрицей?
4. Опишите структуру и свойства алюминиевых матриц с борными волокнами.
5. Укажите свойства КМ на алюминиевой основе с углеродными волокнами.
6. Приведите достоинства и недостатки КМ с магниевой матрицей.
7. Что знаете о КМ с армированной титановой основой?
8. Отметьте достоинства и недостатки КМ с титановой матрицей.
9. Что представляют КМ с никелевой матрицей?

Порядок выполнения работы

1. Изучить инструкцию по технике безопасности при выполнении работ.
2. Изучить изложенный материал.
3. Ответить на вопросы в письменном виде в форме отчета по лабораторной работе.
4. Отчет представляет собой ответы на вопросы, подкрепленные рисунками и графиками.
5. Отчет готовится отдельно каждым студентом и является допуском для защиты. Успешная защита отчета является основанием для зачета по каждой лабораторной работе.