

УДК 539.5

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Член-корреспондент АН СССР А. Т. ТУМАНОВ, К. И. ПОРТНОЙ

НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ В СОВРЕМЕННОЙ ТЕХНИКЕ

Созданные под руководством авторов* два вида композиционных материалов (к.м.) на алюминиевой и никелевой основах с волокнистой структурой, армированные борными и вольфрамовыми волокнами, а также никелевые, дисперсноупрочненные частицами тугоплавких кислородных соединений, по уровню свойств значительно превосходят свойства промышленных сплавов и не уступают аналогичным зарубежным композициям^(1, 2).

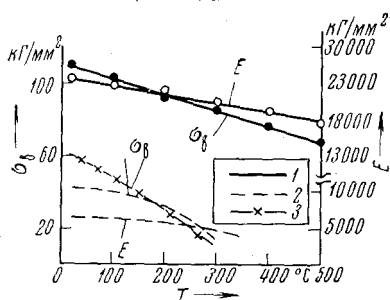


Рис. 1. Сравнение свойств композиционного боралюминиевого сплава (1) и промышленных алюминиевых сплавов (2, 3): 1 — к.м., содержащий ~50% борного волокна, 2 — В95, 3 — АК4-1

Композиционный материал на алюминиевой основе, армированной 50% высокопрочными, высокомодульными непрерывными волокнами бора (марка ВКА-1), по прочности и модулю упругости в интервале температур от 20 до 500°С в 2—3 раза превосходит свойства стандартных алюминиевых сплавов (рис. 1). Сплав ВКА-1 изготавливается методом диффузионной сварки пакетов под давлением монослойных боралюминиевых лент, состоящих из однонаправленных борных волокон диаметром 100 мкм и фольги толщиной 15—30 мкм.

Усталостная прочность сплава ВКА-1 на базе 10^7 циклов составляет 40—50 кг/мм², в то время как сопротивление усталости обычных алюминиевых сплавов на той же базе составляет 12—15 кг/мм².

Длительная прочность сплава ВКА-1 при температуре 400° составляет за 100 час испытания 40—50 кг/мм², в то время как наиболее жаропрочный алюминиевый сплав САП-2 при той же температуре и продолжительности испытания имеет длительную прочность 8,5 кг/мм². Боралюминиевый к.м. имеет плотность ~2,65 г/см³ и прочность при 20° 100—120 кг/мм², т. е. его удельная прочность (σ_b/γ) составляет 41 (кг/мм²)/(г/см³). Указанные высокие свойства сплава ВКА-1 связаны с тем, что прочность борных волокон составляет 250—350 кг/мм², модуль упругости 40 000 кг/мм², причем эти свойства мало изменяются при температурах до 500°.

По расчетам В. Ф. Кутынова, выполненным на основе зарубежных данных по свойствам аналогичных материалов, замена лонжерона крыла самолета из алюминиевого сплава В95 на лонжерон из титанового сплава с подкрепляющими элементами или усиливающими накладками из однонаправленного композиционного материала ВКА-1 приводит к уменьшению веса лонжерона на 42% и повышение жесткости его на 45% при сохранении первоначальной прочности (рис. 2).

* Участниками разработки композиционных материалов являются Б. Н. Бабич, Ю. В. Левинский, В. И. Люкевич, С. Е. Салибеков, Е. Н. Тимофеева, В. М. Чубаров и др.

Разработанный волокнистый композиционный материал на никелевой основе, армированный вольфрамовыми или молибденовыми волокнами (40—50 об. %) марки ВКН-1, предназначен для работы при температурах 1100—1200° (см. табл. 1) (3). Применение этого материала в окислительной среде при указанных температурах требует защиты от газовой коррозии.

Образцы композиционного материала на никелевой основе получены путем вакуумной пропитки жидким сплавом каркаса из вольфрамовых волокон, помещенного в эвакуированный цилиндр, торец которого запаян никелевой фольгой. Для пропитки волокон цилиндр погружался запаянным концом в жидкий металл, расплавляющий фольгу, и сплав в течение нескольких секунд заполнял цилиндр и пропитывал волокна. Таким же способом получают детали, при этом вместо цилиндра применяется жаростойкая оболочка, имитирующая их конфигурацию.

Длительная прочность композиционного материала на основе жаропрочного никелевого сплава ЖС6, армированного вольфрамовыми волокнами (проволокой) диаметром 0,3—0,5 мм (ВКН-1) мало изменяется с увеличением длительности испытания. Так, например, длительная прочность при 1100° за 100 час испытания составляет 15 кг/мм², а за 1000 час испытания — 14 кг/мм², что указывает на высокую стабильность свойств.

Повышение длительной прочности сплава ВКН-1 достигается либо повышением объемного содержания упрочнителя, либо повышением жаропрочности армирующих волокон, т. е. применением вместо обычной вольфрамовой проволоки марки ВА проволоки из жаропрочных вольфрамовых или молибденовых сплавов.

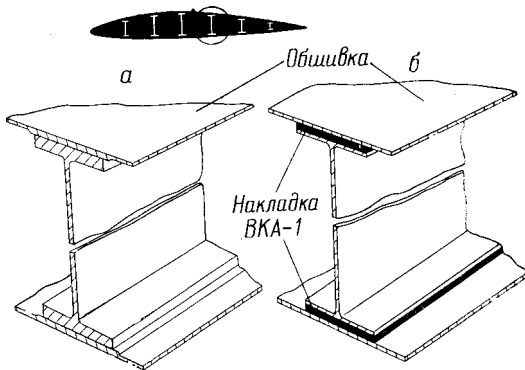


Рис. 2. а — обычная, б — усиленная конструкция

Таблица 1

Свойства композиционного никелевого сплава ВКН-1 и стандартного жаропрочного сплава ЖС6

Материал	σ_{100} , КГ/ММ ²		σ_B , КГ/ММ ²				$\frac{\sigma_B \text{ (КГ/ММ}^2\text{)}}{\gamma \text{ (Г СМ}^3\text{)}}$	
	T , °С							
	1100	1100	1200	1300	1100	1200		
ВКН-1	15—20	53,8	38,5	29	4,3	3,1		
ЖС6	6—7	31,7	9,8	—	3,9	1,2		

К другой группе композиционных материалов относятся два дисперсно-упрочненных жаропрочных никелевых сплава, полученных химико-металлургическим способом (4). Сплавы на основе никеля, упрочненные дисперсными частицами (100 — 600 Å) двуокиси тория (ВДУ-1) и двуокисью гафния (ВДУ-2), позволяют расширить температурную область использования деформируемых никелевых жаропрочных сплавов от 1000 до 1200°.

На рис. 3 приведено сравнение длительной прочности при 1100°С волокнистого композиционного материала ВКН-1, дисперсноупрочненных материалов ВДУ-1 и ВДУ-2 и промышленных жаропрочных литейных и деформируемых никелевых сплавов. Из графика видно, что новые компо-

зиционные материалы мало разупрочняются с увеличением длительности испытания, так как обладают более высокой структурной и термической стабильностью. Длительная прочность сплава ВКН-1 при 1100° в 2 раза выше длительной прочности ныне применяемых никелевых жаропрочных сплавов.

В волокнистых легких композиционных материалах основной вклад в прочность и жаропрочность вносят борные волокна, а в никелевых сплавах — вольфрамовые. Волокна, кроме того, задерживают распространение трещин и повышают сопротивление усталости. Основная же роль более пластичной матрицы в этих материалах заключается в эффективной передаче волокнам приложенной нагрузки (⁵).

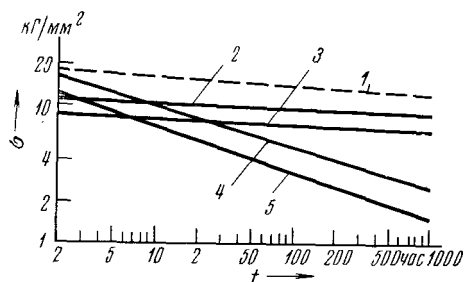


Рис. 3. Сравнение длительной прочности композиционных материалов ВКН-1 (1), ВДУ-1 (2) и ВДУ-2 (3) с указанными свойствами дисперсионно-твердеющих жаропрочных никелевых сплавов (литейных (4) и деформируемых (5)) при 1100° С

В дисперсионноупрочненных композиционных материалах тонкодисперсные частицы упрочнителя, вводимые в никелевую матрицу, в отличие от армирующих непрерывных или дискретных волокон вольфрама, бора и др., упрочняют матрицу путем создания специфической микрогетерогенной структуры с сильно развитой поверхностью раздела фаз, а матрица при этом является основным элементом, несущим нагрузку. Дисперсные частицы окислов, инертные и не растворяющиеся в матрице, закрепляют дислокации и обеспечивают торможение роста зерен и процесса рекристаллизации материала.

В волокнистых композиционных материалах прочность в зависимости от содержания упрочнителя изменяется в основном по закону аддитивности. Однако при малых содержаниях упрочнителя (до 5%) и больших содержаниях (выше 80%) наблюдаются отклонения от правила смесей.

В дисперсионноупрочненных материалах высокотемпературная прочность и жаропрочность в зависимости от объемного содержания второй упрочняющей фазы изменяются образованием экстремума. Так, например, для композиционных материалов ВДУ-1 и ВДУ-2 максимум свойств отмечается при содержании упрочнителя 2,5—3,5 об. %.

Для широкого внедрения новых материалов и их использования в технике необходимо создание специальных методов изготовления полуфабрикатов и деталей, а также разработки методов конструирования деталей и узлов конструкций с учетом особенностей технологии изготовления и свойств композиционных материалов.

Поступило
2 IX 1971

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Современные композиционные материалы, под ред. Л. Браутмана и Р. Крока, М., 1970. ² Композиционные материалы волокнистого строения, под ред. И. Н. Францевича и Д. М. Карпиноса, Киев, 1970. ³ К. И. Портной, А. Т. Туманов, В сборн. Структура и свойства жаропрочных металлических материалов, М., 1970, стр. 55. ⁴ А. Т. Туманов, К. И. Портной, ДАН, 197, № 1, 75 (1971). ⁵ Волокнистые композиционные материалы, под ред. С. З. Бокштейна, М., 1967.