

2. ДИСПЕРСНО-УПРОЧНЕННЫЕ КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

Цель работы: изучение структуры и состава дисперсно-упрочненных КМ.

Задание: изучить строение, виды и свойства дисперсно-упрочненных КМ.

В дисперсно-упрочненных КМ наполнителями служат дисперсные частицы тугоплавких фаз-оксидов, баридов, карбидов (Al_2O_3, SiO_2, BN, SiC и др.). К достоинствам тугоплавких соединений относятся высокое значение модуля упругости, низкая плотность, пассивность к взаимодействию с материалами матриц, а таких как окислы алюминия и кремния - большая распространенность в природе и невысокая стоимость образующих их элементов.

Дисперсно-упрочненные КМ в основном получают порошковой технологией, но существуют и другие способы, например, метод непосредственного введения наполнителей в жидкий металл или сплав перед разливкой. В последнем случае для очистки от жировых и других загрязнений, улучшения смачиваемости частиц жидким металлом и равномерного распределения их в матрице применяют ультразвуковую обработку жидкого расплава.

В дисперсно-упрочненных КМ основную нагрузку воспринимает матрица, а дисперсные частицы упрочнителя оказывают сопротивление движению дислокаций при нагружении металла, мешают развитию пластической деформации. Чем больше это сопротивление, тем выше прочность. Прочность зависит также от дислокационной структуры, формирующейся в процессе пластической деформации при изготовлении изделий из КМ. Кроме того, дисперсные частицы наполнителя оказывают «косвенное» упрочняющее действие, способствующее образованию структуры с большей степенью неравномерности зерен (волоконистой). Такая структура формируется при сочетании пластической деформации и отжигов. При этом дисперсное включение частично или полностью препятствует рекристаллизационным процессам.

Уровень прочности зависит от объемного содержания упрочняющей фазы, равномерности ее распределения, степени дисперсности и расстояния между частицами. Согласно формуле Орована, сопротивление сдвигу увеличивается с уменьшением расстояния между частицами:

$$\sigma = \frac{Gb}{l},$$

где G - модуль сдвига; b - межатомное расстояние; l - расстояние между частицами.

Большое упрочнение достигается при размере частиц 0,01-0,1 мкм и расстояния между ними 0,05-0,5 мкм. Объемное содержание частиц зависит от схемы армирования.

Преимущество дисперсно-упрочненных КМ по сравнению с волокнистыми - изотропность свойств.

К дисперсно-упрочненным КМ на алюминиевой основе, нашедшим промышленное применение, относится материал из спеченной алюминиевой пудры (САП). Материал САП характеризуется высокой прочностью, жаростойкостью, коррозионной стойкостью и термической стабильностью свойств.

САП состоит из алюминия и его оксида. Получают САП путем последовательного брикетирования, спекания и прессования окисленных с поверхности алюминиевой пудры. Исходным материалом при получении пудры служит порошок - пульверизат, который изготавливают распылением расплавленного алюминия А6 (ГОСТ 11069-74). Порошок размельчают в шаровых мельницах в атмосфере азота с добавлением 2-3 % O_2 и 0,25-1,2 % стеариновой кислоты. Кислород используется для окисления вновь образованных поверхностей пудры, стеарин - для облегчения скольжения и препятствия свариванию частиц пудры. Частицы пудры имеют форму чешуек толщиной менее 1 мкм. Длина и ширина частиц одного порядка, толщина оксидной пленки составляет 0,01-0,1 мкм. Размер частиц зависит от длительности разлома: чем продолжительнее время разлома, тем мельче частицы пудры, больше их общая поверхность и, следовательно, выше содержание оксида алюминия. Например, пудра марки АПС-1 с размером частиц 30-50 мкм содержит 6-8 % Al_2O_3 , а пудра АПС-2, имеющая размер частиц 10-15 мкм, уже 9-12 % Al_2O_3 . В настоящее время освоена технология получения алюминиевой пудры четырех марок и соответствующих им марок САП (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Механические свойства САП

Материал	Содержание Al_2O_3 , %	σ_b , МПа	$\frac{\sigma_b}{\rho d}$, км	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	E , ГПа	$\frac{E}{\rho d} \cdot 10^{-3}$, км
САП-1	6-8	300	11	220	7	67	2,1
САП-2	9-12	350	13	280	5	71	2,6
САП-3	13-17	400	15	320	3	76	2,8
САП-4	18-22	450	17	370	1,5	80	2,9

Структура САП представляет собой алюминиевую основу с равномерными дисперсными включениями Al_2O_3 . С увеличением содержания Al_2O_3 повышаются прочность (рис. 2.1). Высокая прочность САП объясняется большой дисперсностью оксидной фазы, малым расстоянием между ее частицами. Нерастворимость в алюминии и отсутствие склонности к

коагуляции тонкодисперсных частиц Al_2O_3 , обеспечивает стабильность структуры и высокую прочность при температуре до 500 °С.

САП хорошо деформируется в горячем состоянии, хуже - в холодном, легко обрабатывается резанием и удовлетворительно сваривается контактной и аргонодуговой сваркой. В настоящее время в основном применяют САП-1, САП-2 и САП-3, из них производят все виды полуфабрикатов: листы, профили, штамповые заготовки, трубы, фольгу. САП используют для деталей, работающих при 300-500 °С, от которых требуются высокая удельная прочность и коррозионная стойкость (поршневые штоки, лопатки компрессоров, лопатки вентиляторов и турбин, конденсаторы, обмотки трансформаторов и т. д.)

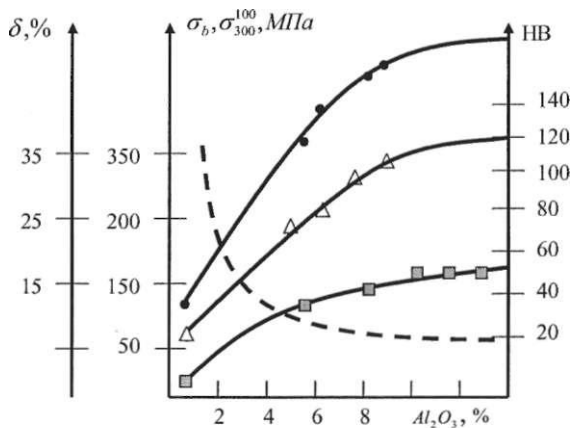


Рис. 2.1. Зависимость механических свойств САП от содержания Al_2O_3 .

Спеченные алюминиевые сплавы (САС) изготавливают в основном по той же технологии, что и САП - из порошков, полученных распылением сплавов заданных составов.

Практическое значение имеют сплавы с низким температурным коэффициентом линейного расширения, близким к коэффициенту линейного расширения стали, и высоким модулем упругости. Так, АСА, содержащий 25-30 % Si , 5-7 % Ni , остальное Al , имеет $\alpha = (14,5-15,5) \times 10^{-6} K^{-1}$; $E = 100 ГПа$. Эти сплавы заменяют более тяжелые стали при изготовлении отдельных деталей. Механические свойства САС характеризуются достаточно высокой прочностью, твердостью ($\sigma_b = 260 МПа, 120 НВ$) и низкой пластичностью ($\delta = 1,5...1 \%$). Преимущества спекаемых алюминиевых сплавов по сравнению с обычными аналогичного состава - отсутствие линейных дефектов (ликвации, шлаковых включений и т. д.) и мелкозернистая структура с равномерным распределением фаз.

Высокими механическими свойствами при комнатной и повышенной температурах обладают КМ на основе алюминия и его сплавов, упрочненные частицами карбида алюминия Al_4C_3 . Их получают методом механического легирования углеродом порошка алюминия с последующим компактированием, прессованием и прокаткой. В процессе нагрева алюминий образует с углеродом карбид Al_4C_3 . КМ $Al-Al_4C_3$ имеет $\sigma_s = 450...500 МПа$, $\sigma_{0,2} = 430...470 МПа$, $\delta = 4\%$. По длительной прочности ($\sigma_{100}^{500} = 60 МПа$) он превосходит все стандартные алюминиевые сплавы.

К перспективным относятся КМ с малой плотностью на основе бериллия и магния: $Be-BeO$, $Be-Be_2C$ и $Mg-MgO$. Однако они не нашли большого применения из-за технологических сложностей и низкой коррозионной стойкости.

В качестве матриц жаропрочных КМ используют никель, кобальт и их сплавы. КМ с кобальтовой матрицей, обладая незначительным преимуществом перед никелевым КМ в жаропрочности, нашли ограниченное применение из-за высокой стоимости.

Существуют дисперсно-упрочненные КМ на никелевой основе. В качестве матрицы в этих материалах используют никель и его сплавы с хромом (-20 %) со структурой твердых растворов. Сплавы с хромоникелевой матрицей обладают более высокой жаростойкостью. Упрочнителями служат частицы оксидов тория, гафния и др. Временное сопротивление в зависимости от объемного содержания упрочняющей фазы изменяется по кривой с максимумом. Наибольшее упрочнение достигается при 3,5-4 % HfO_2

($\sigma_s = 750...850 МПа$, $\frac{\sigma_s}{\rho} = 9...10 км, \delta = 8...12\%$). Легирование никелевой матрицы

W, Ti, Al , обладающими переменной растворимостью в никеле, дополнительно упрочняет материалы в результате дисперсионного твердения матрицы, происходящего в процессе охлаждения с температур спекания. Методы получения этих материалов довольно сложны. Они сводятся к смешиванию порошков металлического хрома и легирующих элементов с заранее приготовленным (методом химического охлаждения) порошком никеля, содержащим дисперсный оксид гафния или другого элемента. После холодного прессования смеси порошков проводят горячую экструзию брикетов.

Вопросы

1. Какие материалы служат наполнителями в ДУКМ?
2. Каким образом получают ДУКМ?
3. Каковы структуры и прочность ДУКМ?
4. Укажите достоинства и недостатки ДУКМ.
5. Что такое САП?
6. Каковы структура и свойства САП?
7. Что такое САС? Технология получения.
8. Свойства САС.
9. Как получают ДУКМ на никелевой основе?
10. Каковы свойства ДУКМ?

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.