

Фазовые превращения и прочность кристаллов



ТЕЗИСЫ

**XI Международной конференции ФППК-2020,
посвященной памяти академика Г.В. Курдюмова**

Черноголовка, 26-30 октября 2020 г

Российская Академия наук
Министерство науки и высшего образования РФ
Научный Совет РАН по физике конденсированных сред.
Межгосударственный координационный совет по физике прочности
и пластичности материалов
Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»
Институт физики твердого тела РАН
Научный Центр металловедения и физики металлов им. Г.В. Курдюмова
ФГУП "ЦНИИчермет им. И.П. Бардина"

Одиннадцатая Международная Конференция
**«Фазовые превращения и
прочность кристаллов»,**
памяти академика Г.В. Курдюмова

Под редакцией д.ф.м.н. Б.Б.Страумала

XI International G.V. Kurdjumov conference
"Phase transformations and strengths of the crystals"

Черноголовка, 26 – 30 октября 2020 г.

СБОРНИК ТЕЗИСОВ

Черноголовка
2020

Фазовые превращения и прочность кристаллов: сб. тезисов XI Международной конференции (26 – 30 октября 2020 года, Черногоровка) / под ред. Б.Б. Страумала. – Черногоровка, 214 с. – ISBN 978-5-6040418-7-1.

© Российская Академия наук, 2020
© Страумал Б.Б. (редактор), 2020

О МИКРОСТРУКТУРЕ И ВЗАИМОДЕЙСТВИИ САПФИРОВЫХ ВОЛОКОН С МАТРИЦЕЙ СЛОИСТОГО Ti/Al-КОМПОЗИТА

Коржов В.П.¹, Кийко В.М.¹, Курлов В.Н.¹, Некрасов А.Н.²

¹Институт физики твердого тела РАН, г. Черноголовка

²Институт эксперим. минерал. им. акад. Д. С. Коржинского РАН, г. Черноголовка
korzhov@issp.ac.ru

Исследовали слоистый композит, полученный твердофазным способом, с (Ti–Al)-матрицей, армированной волокнами сапфира, полученными модифицированным методом Степанова. Такие композиты способны в одном материале совместить матрицу с удовлетворительной трещиностойкостью и оксидные волокна с высокими прочностью и сопротивлением ползучести. В данном случае упрочняющими элементами были также слои интерметаллических соединений титана с алюминием.

Исходные пакеты содержали 4 элемента, состоящих из Al-фольг толщиной 40 и 12 мкм, между которыми располагались сапфировые волокна диаметром ~ 0,3 мм в засыпке из Ti-порошка (рис. 1, а). Снаружи пакеты обкладывались фольгами Ti-сплава с Cr, Mo и Al. Матрица композита формировалась в процессе диффузионной сварки пакета под давлением ~15 МПа при 1200°C в течение 1 ч.

После сварки композит состоял из металлической матрицы и армирующих волокон Al₂O₃. Композит имел структуру с послойным распределением волокон в слоистой же матрице из (Ti–Al)-сплава, упрочненной алюминидами металлов (рис. 2, б).

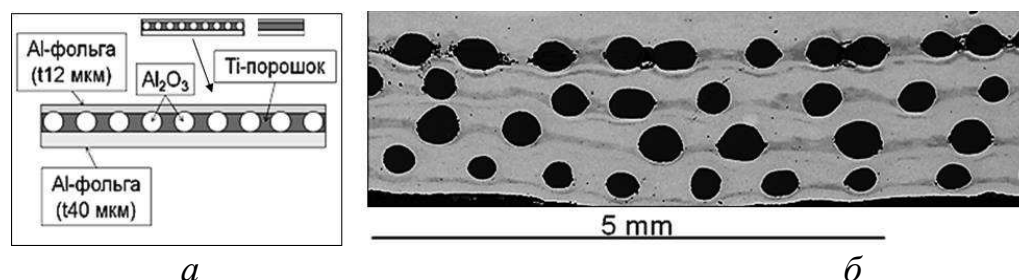


Рис. 1. Схематическое изображение отдельного элемента для сборки пакета (а) и макроструктура продольного сечения композита поперек волокон сапфира (б)

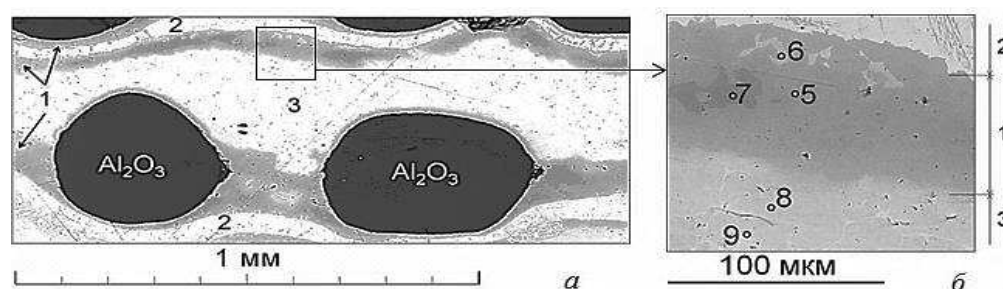


Рис. 2. Микроструктура многослойной матрицы композита (Ti–Al)-сплав/Al₂O₃ (а) и ее фрагмент (б) с большим увеличением с точками локального РС-анализа (5–9)

Структура матрицы вблизи волокон (рис. 2, а) состояла из 2-х слоев серого цвета 1 и светлого слоя 2. На удалении от волокна микроструктура слоя 1 показана на рис. 2, б. Цифрами 5–9 обозначены точки локального рентгено-спектрального анализа. По его данным основу слоёв 1 (рис. 2, б) представляет интерметаллид (Ti,Me)₃(Al,Si) = (Ti_{2.60}Me_{0.05})_{2.65}(Al_{1.34}Si_{0.01})_{1.35}, где Me – Cr, Fe и Mo (точка 5 анализа). Светло-серые

включения – также соединение A_3B , но с бóльшим содержанием Cr, Fe и Mo – $(Ti_{2.40}Me_{0.32})_{2.72}(Al_{1.27}Si_{0.01})_{1.28}$ (точка 6). Включения темно-серого цвета – интерметаллид AB : $(Ti,Me)(Al,Si) = (Ti_{1.06}Me_{0.01})_{1.07}(Al_{0.93}Si_{0.00})_{0.93}$, где Me – Cr и Fe (точка 7).

В слое 3 толщиной 0,2–0,3 мм присутствуют 2 твердых раствора: (Ti)1 и (Ti)2 соответственно точки анализа 8 и 9. Судя по световому контрасту, в (Ti)2 содержится большое количество наиболее тяжелого из всех металлов молибдена. Светлый слой 2 идентифицирован как еще один интерметаллид A_3B с большим содержанием Cr, Fe и Mo – $(Ti_{2.65}Me_{0.42})_{3.07}(Al_{0.91}Si_{0.02})_{0.93}$, где Me – Cr, Mo и Fe.

Важный результат этой части исследований – это отсутствие пор в композите.

О взаимодействии волокон сапфира с матрицей. В композите из Ti-сплава структура матрицы, граничащей с волокном, имела многофазное строение (рис. 3).

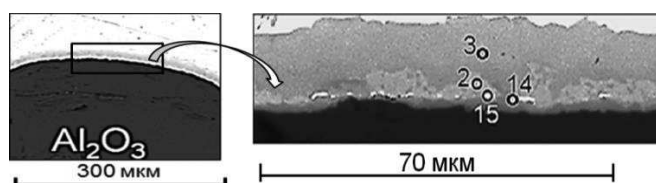


Рис. 3. Микроструктура матрицы Ti-сплава на границе с волокном Al_2O_3 (2, 3, 14 и 15 – это точки локального рентгено-спектрального анализа)

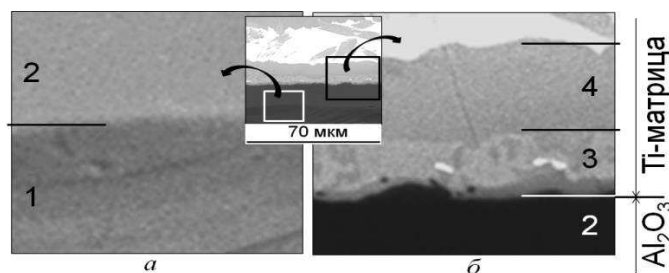


Рис. 4. Микроструктура зона взаимодействия волокна с матрицей композита: 1 и 2 – зоны волокна, 3 – зона взаимодействия волокна с матрицей композита, 4 – слой (Ti–Al)-матрицы, прилегающий к зоне взаимодействия

На рис. 4 показаны две зоны волокна 1 и 2 (левый фрагмент) и зоны волокна 2 и матрицы 3 и 4 (правый фрагмент). По данным растровой электронной микроскопии слой 3 толщиной ~ 19 мкм, находящийся в контакте с волокном Al_2O_3 , имел, как минимум, 4 фазы (рис. 4, б):

- поле серого цвета – это интерметаллическое соединение A_3B на основе Ti с алюминием и кремнием – $(Ti_{2,36}Cr_{0,16}Mo_{0,03})_{2,55}(Al_{0,76}Si_{0,69})_{1,45}$,

- тонкий слой темно-серого цвета в непосредственном контакте с сапфировым волокном имел состав 50,7 Ti–31,2 Al–10,6 Si–3,55 Er–3,4 Cr–0,5 Mo–0,1 ат.% Fe и соответствовал эвтектической области $Ti_3Al + TiAl$ диаграммы состояний Ti–Al,

- включения черного цвета состава 30,9 Ti–30,6 Al–29,2 O–4,3 Er–3,3 Si–1,4 %Cr–0,3 Mo–0,1 ат.%Fe представлял один из низших оксидов титана – Ti_3O или Ti_2O и

- светлые включения, оставшиеся не идентифицированными.

Слой 4 с 26,3 %Al и 70,3 ат.%Ti – это интерметаллид Ti_3Al , в котором растворены Si (~1%), Cr (1,8%) и Mo (0,5 ат.%).

Волокно на границе с матрицей имело две зоны 1 и 2 контрастов (рис. 4, а), что было доказательством взаимодействия Al_2O_3 с матрицей. Зона 2 потому и стала светлей, т. е. тяжелей, так как растворила в себе некоторое количество металла матрицы.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ. Проект №20-03-00296.