

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПОЗИТОВ Al-AI₂O₃, ПОЛУЧЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ ВЗРЫВНОГО КОМПАКТИРОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ УДАРНО-ВОЛНОВОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ И РАЗРУШЕНИЯ

А.П.Хрусталёв¹, И.А.Жуков¹, С.А.Ворожцов¹, Г.В. Гаркушин², В.В.Промахов¹,
С.В.Разоренов²

¹*Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия*

²*Институт проблем химической физики РАН, г.Черноголовка, Россия*

В настоящее время упрочнение алюминиевых сплавов актуальная задача, требующая фундаментальных представлений о механике разрушения и прочности металлических материалов. Согласно исследованиям, сопротивление деформации металлов в кристаллическом состоянии может быть увеличено за счет четырех принципиально различных механизмов упрочнения: субструктурное, твердорастворное, поликристаллическое, многофазное [1]. Для алюминиевых сплавов характерны механизмы поликристаллического и многофазного упрочнения. Использование дискретных частиц второй фазы равномерно распределенных в матрице основного материала, позволяет получить новые композиционные материалы с возможностью реализации двух механизмов упрочнения за счет возможности измельчения зерна и торможения движения дислокаций на частицах второй фазы.

Такие композиционные материалы возможно изготавливать, как твердофазными методами порошковой металлургии, так и жидкофазными методами литья [2-4]. Однако данные методы не позволяют достаточно эффективно ввести упрочняющую фазу в мягкую металлическую матрицу за счёт диффузионных процессов протекающих при синтезе композитов и приводящих к росту неметаллических частиц в материале. Одним из методов позволяющих быстро воздействовать на порошковую смесь давлением и температурой является ударно-волновое компактирование. Этот метод позволяет достигать высокой плотности изделий с сохранением исходного размера частиц. [5]

При этом вызывает интерес исследование композитов на основе порошков в широком диапазоне скоростей деформирования от 10^{-3}с^{-1} до 10^5с^{-1} с целью выявления механизмов деформации и разрушения и их связи с внутренней микроструктурой, полученной в ходе взрывного компактирования. Следует отметить, что процессы высокоскоростного деформирования и разрушения, вызванные ударной волной в подобных материалах не изучены вовсе.

В работе были синтезированы образцы композитов из порошковых смесей алюминия (средний размер частиц 5-6 мкм) и 10% оксида алюминия (средний размер частиц 36 нм) методом ударно-волнового компактирования. В качестве ВВ применено взрывчатое вещество «Угленит Э-6», уплотненное до $\rho=1,25\text{ г/см}^3$. В результате был получен композит с плотностью $\rho_0 = 2.65\text{ г/см}^3$. Измеренная продольная скорость звука составила $c_1 = 6.10\pm 0.1\text{ км/с}$. Микротвердость по Викерсу составила $106\pm 6\text{ кг/мм}^2$. С использованием электронной микроскопии была изучена структура получаемых композитов. Параметры кристаллической структуры и фазовый состав изучены с использованием метода рентгеновской дифракции.

Ударно-волновые испытания проведены с образцами толщиной 2 мм и 5 мм. Плоские ударные волны в образцах сплава генерировались алюминиевыми пластинами-ударниками толщиной 0.85 мм и 2 мм соответственно, разогнанными до скорости 630 ± 30

м/с с помощью специальных взрывных устройств. Механические свойства композитов в условиях ударно-волнового деформирования изучаются путем регистрации структуры плоских волн ударного сжатия в испытуемом образце и анализа их взаимодействия со свободной поверхностью образца. Исследования основаны на том факте, что процессы упругопластического деформирования и разрушения сопряжены с изменением сжимаемости материала и проявляются в структуре интенсивных волн сжатия и разрежения. При отражении от поверхности тела интерференция падающей и отраженной волн разрежения приводит к растяжению внутри тела, в результате чего инициируется высокоскоростное разрушение – откол. В процессе нагружения тестируемых образцов осуществлялась непрерывная регистрация движения их свободной тыльной поверхности с применением лазерного Доплеровского измерителя скорости VISAR. Профили скорости свободной поверхности $u_{fs}(t)$ фиксировались с разрешением 1 нс по времени и ± 3 м/с по величине измеряемой скорости. Как и предполагалось в синтезированных композитах, отмечается рост динамического предела упругости, в связи с введением частиц Al_2O_3 . Измеренные значения динамический предел упругости в композиционных материалах для образцов толщиной 2 мм и 5 мм составили 0.24 ± 0.01 ГПа и 0.2 ± 0.01 ГПа, в то время как в образцах чистого алюминия 0.12 ± 0.02 ГПа (толщина образца 2.6 мм). Динамическая прочность композита равна 0.4 ГПа и 0.35 ГПа для образцов 2 мм и 5 мм, в то время как прочность в образцах чистого алюминия 1.28 ГПа (толщина образца 2.6 мм). Высокая прочность чистого гомогенизированного алюминия объясняется отсутствием в их структуре потенциальных центров разрушения, т.е. искусственно добавленных частиц Al_2O_3 .

Работа проводилась при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 - 2020 годы», соглашение № 14.578.21.0098 (уникальный идентификатор RFMEFI57814X0098).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Конева Н.А.** Физика прочности металлов и сплавов // Соровский образовательный журнал. 1997, №7, С. 95
2. **Костиков В. И., Агуреев Л. Е., Еремеева Ж. В., Ситников Н. Н., Казаков В. А.** Алюмоматричные композиты с малыми добавками наночастиц оксидных материалов. // Журнал Перспективные материалы. 2014, №7, С.13
3. **Калашников И.Е., Болотова Л.К., Кобелева Л.И., Катин И.В., Чернышова Т.А.** Изготовление высокоармированного алюмоматричного композиционного материала. // Физика и химия обработки материалов. 2009, №6. С. 48.
4. **Калашников И.Е., Болотова Л.К., Чернышова Т.А.** Структура литых алюмоматричных композиционных материалов, армированных интерметаллидными фазами и наноразмерными тугоплавкими порошками // Цветные металлы. 2010, №9, С. 67
5. **Оголихин В.М., Шемель С.Д.** Взрывное компактирование порошковых материалов в металлических ампулах. // Журнал Известия ВолгГТУ. 2008, №3 (3), С. 119