

Сведения о выполненных работах  
в период с 01.07.2023 г. по 30.06.2024 г.

по проекту **«Разработка научных основ получения высокопрочных  
металломатричных композиционных материалов с применением технологии  
прямого лазерного выращивания»**,  
поддержанному Российским научным фондом

Соглашение № 20-79-10086

Руководитель: Промахов Владимир Васильевич, канд. техн. наук

Проведена подготовка порошковых смесей Al – Ti – B с концентрацией алюминия от 10 до 70 масс. %: 10 масс. % Al + 90 масс. % (Ti + 2B), 30 масс. % Al + 70 масс. % (Ti + 2B), 50 масс. % Al + 50 масс. % (Ti + 2B), 60 масс. % Al + 40 масс. % (Ti + 2B), 70 масс. % Al + 30 масс. % (Ti + 2B). Разработана и реализована методика подготовки смесевых порошковых композиций. Проведена серия экспериментальных работ, направленных на получение композиционных материалов на основе системы Al – Ti – B методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза из порошковых смесей Al – Ti – B. Проведены исследования процессов СВ-синтеза, фазового состава и структуры полученных продуктов в зависимости от концентрации алюминиевого компонента в исходной порошковой смеси, а также определение его оптимальной концентрации. Показано, что увеличение концентрации алюминия в исходной порошковой системе Al – Ti – B до 60 мас. % приводит к образованию композиционных металломатричных СВС-материалов Al – TiB<sub>2</sub> с высоким содержанием керамических частиц диборида титана (TiB<sub>2</sub>) нанометрового размера (до 400 нм). Проведены экспериментальные работы по предварительной механической активации исходной порошковой смеси Al – Ti – B с установленной концентрацией алюминия, а также исследование влияния ее продолжительности на процессы СВ-синтеза, фазовый состав и структуру полученных продуктов. Установлено, что механическая активация продолжительностью 900 сек. приводит к изменению характера горения системы. Обнаружено, что толщина зоны прогрева и фронта пламени в этом случае больше, чем в образцах, механическая активация которых составляла 60 сек. и 180 сек. Такой режим синтеза характеризуется как предельный, после которого наступает затухание. С увеличением продолжительности механической активации от 60 секунд до 180 секунд наблюдается повышение температуры синтеза от 1570 °С до 1640 °С. Дальнейшее увеличение продолжительности механической активации до 900 секунд приводит к снижению температуры синтеза до 1480 °С. Исходя из полученных результатов установлено, что продолжительность механической активации от 60 сек. до 180 сек. приводит к увеличению поверхности реагирования между компонентами за счет измельчения их частиц, что напрямую влияет на характер движения фронта пламени, а также на температуру реакции. Увеличение поверхности реагирования позволяет быстрее осуществить реакции синтеза в зоне прогрева, а также приводит к

более стабильному распространению фронта пламени по образцу, что объясняет однородный спиновый характер движения. Проведена подготовка исходных порошковых смесей Al – Ti – B (концентрация алюминия постоянная) с различным содержанием порошка титана: (Al + 5 масс. % Ti) + (Ti + 2B), (Al + 10 масс. % Ti) + (Ti + 2B), (Al + 30 масс. % Ti) + (Ti + 2B), (Al + 50 масс. % Ti) + (Ti + 2B). Проведены исследования влияния концентрации порошка титана в исходной смеси Al – Ti – B на процессы СВ-синтеза, фазовый состав и структуру продуктов. Исследование температуры СВ-синтеза в образцах системы (Al-Ti<sub>x</sub>)-(Ti-2B) позволили установить, что увеличение концентрации титана (Ti<sub>x</sub>) приводит к снижению температуры синтеза. Таким образом, для плавления порошка титана (Ti<sub>x</sub>) в матричном материале необходимо затратить больше тепла (относительно чистой алюминиевой матрицы), которое выделяется в процессе экзотермической реакции базового титана и бора (Ti-2B) с образованием диборида титана. Было установлено, что структура СВС-продуктов, полученных из порошковой смеси (Al-Ti<sub>x</sub>)-(Ti-2B), сопоставима со структурой СВС-продуктов системы Al-(Ti-2B). Она также состоит из обособленных частиц диборида титана распределенных в матрицы. Увеличение концентрации титана (Ti<sub>x</sub>) в исходной порошковой смеси до 5 масс. % приводит к образованию в матричном материале областей интерметаллида Al<sub>3</sub>Ti, которые формируют островную структуру.

Предварительные исследования по спеканию полученных порошковых композиционных материалов показали, что плотность материалов Al-Al<sub>3</sub>Ti-TiB<sub>2</sub>, полученных при температуре спекания 1200 градусов Цельсия составляет 95 % от теоретической. Показано, что после спекания образцы наследуют структуру СВС-порошка. Структура композитов после спекания так же состоит из частиц диборида титана и островных областей интерметаллида Al<sub>3</sub>Ti распределенных в алюминиевой матрице. Размер частиц диборида титана в спечённом образце изменяется от 0,05 до 2 мкм, а средний размер равен 0,45 мкм. Установлено, что средний размер частиц диборида титана в спеченных материалах был немного выше среднего размера этих частиц в исходных СВС-порошках, полученных методом СВС (0,37 мкм).

Проведено моделирование механического поведения композиционных материалов на основе системы (Al-Ti)-TiB<sub>2</sub> в условиях динамического разрушения. Предложена модель, описывающая поведение композиционных материалов с металлической матрицей, наполненных керамическими частицами, в условиях интенсивных динамических воздействий. Для изучения особенностей механического поведения композитов в условиях динамических нагрузок, включая динамику разрушения, наиболее эффективно численное моделирование в Лагранжевых координатах с использованием явных схем интегрирования.