

Достижение ИТПМ СО РАН в области лазерного аддитивного выращивания металлокерамических материалов

А.Г. Маликов*, А.А. Голышев,

Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН

** E-mail: smalik707@yandex.ru*

DOI:10.31868/RFL.2024.256-257

В последние годы аддитивные технологии, известное также как 3D-печать, привлекает значительное внимание благодаря широкому спектру применений в различных отраслях, таких как аэрокосмическая и автомобильная промышленность, биомедицина, ядерное производство и т.д. [1]. В настоящее время для печати использует в основном металлические сплавы на основе титана, железа, алюминия, кобальта, никеля более 30 различных марок, который продолжает расширяться. Данные материалы уже хорошо изучены с точки зрения изготовления функциональных деталей с использованием АД.

Однако на повестке дня стоит создание порошковых материалов, способных внести новый вклад в формирование высоких функциональных свойств изделий. (прочность, твердость, износостойкость, работа при высоких температурах, высокая стойкость к растрескиванию, стойкость к многоциклового нагружению и т. д.). Согласно классическому пониманию физики конденсированного состояния, структура определяет свойства материалов, т. е. новые свойства можно получить, изменяя структуру материала определенным образом. В нашем случае именно металломатричные композиты (ММК) позволяют добиться свойств, которые трудно достичь для металлических сплавов [2]. ММК обладают повышенной механической прочностью, твердостью, износостойкостью и температурой эксплуатации. Однако создание изделий и покрытий из ММК сопряжено с рядом проблем. Разные теплофизические свойства материалов в результате неравновесного нагрева плавления и последующей кристаллизацией по воздействию лазерного излучения могут приводить к получению нежелательных дефектов различного типа: пористость, растрескивание, несплавление и т.д. Необходимо для каждой металлокерамической порошковой композиции тщательно оптимизировать режимы лазерного воздействия (мощность лазерного излучения, длина волны лазерного излучения, плотность мощности, скорость процесса с целью получения качественных покрытий и изделий. Необходимо так же тщательно изучать структурно-фазовой состав, от которого зависят непосредственно механические характеристики.

В ИТПМ СО РАН, лабораторией Лазерных технологий продолжаются фундаментальные и прикладные исследования в области взаимодействия высокоэнергетического лазерного излучения с веществом. В рамках научного направления «Лазерная микрометаллургия», проводятся исследования с целью получения заданного структурно-фазового состава и механических свойств материала после лазерного воздействия.

Разработанная технология прямого лазерного выращивания, которая позволяет наплавлять не только современные материалы, но и наплавлять металлокерамические материалы с высокой концентрацией керамики (до 60% масс.), которые не могут наплавить существующие конкурирующие аналоги.

Отличие от имеющих аналогов заключается в применении двух методов добавления армирующих компонентов.

Первый – ex-situ метод, в котором введение керамических частиц или керамического волокна происходит непосредственно в металлическую матрицу. Второй способ – это in-situ метод, в котором армирующие частицы в следствии диффузии высвобождают реагенты в металлическую матрицу, которые в ходе кристаллизации вступают в химическую реакцию с металлической матрицей, образуя продукты реакции, другими словами, вторичные фазовые соединения.

Главным преимуществом технологии in-situ синтеза по сравнению ex-situ является меньшая разница между коэффициентами теплового расширения керамических частиц и матрицы, что приводит к снижению распространения трещин. Кроме того, процесс in-situ характеризуется образованием мелких частиц с равномерным распределением во всем объеме, которые являются более термодинамически стабильными, с хорошей межфазной совместимостью.

Введение термостойких и прочных керамик и керамических волокон позволяет ММК сохранять значительную долю несущей способности благодаря торможению и отклонению матричных микротрещин на границе керамика либо волокно/матрица, что и обуславливает “псевдопластичный” характер разрушения композиционных материалов. Кроме того, применение керамического волокна/частиц приводит к увеличению прочности на разрыв, трещиностойкости, модуля упругости и т.д. Использование источника синхротронного излучения впервые позволило получить уникальные данные о эволюции структурно-фазового состава композитных материалов в том числе и в результате in-situ синтеза (образование вторичных фаз).

В результате впервые показано влияние добавления керамики TiB, TiB₂, B₄C, WC, SiC, керамического волокна SiC и металлического бора при разном массовом содержании ее в исходную порошковую смесь на эволюцию структурно-фазового состава и механические характеристики функционально-градиентных материалов на основе титанового, никелевого сплава, полученных методом лазерного плавления [3, 4]. Впервые управляя концентрацией керамики в исходной смеси возможно целенаправленно влиять на формирование заданных механических свойств увеличение макро и микро твердость, увеличение стойкости к абразивному износу, увеличение ударостойкости износостойкость, данный параметры в зависимости от типа керамики варьируется в два три раза) титанового сплава за счет изменения структурно-фазового состава получаемого функционально-градиентного материала за счет формированием различного типа вторичных фаз в результате in situ синтеза и неравновесность протекания процессов кристаллизации в результате лазерного воздействия.

Благодарность

Работа выполнена в рамках государственного задания ИТПМ СО РАН. Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП "Механика"

Литература

- [1] А. Г. Маликов, А. А. Голышев и др., *ПМТФ* **64**, 36-59 (2023)
- [2] А. А. Голышев, *Композиты и наноструктуры* **14**, 93-116 (2022)
- [3] В. М. Фомин, Т. А. Брусенцева и др., *ПМТФ* **62**, 58-67 (2021)
- [4] М. Фомин, А. Г. Маликов и др., *Физическая мезомеханика* **25**, 34-43 (2022)