

УДК 621.373.826

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ УСЛОВИЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ГРАДИЕНТНОЙ МЕДНО-НИКЕЛЕВОЙ КОМПОЗИЦИИ, СОЗДАННОЙ МЕТОДОМ ПРЯМОГО ЛАЗЕРНОГО ВЫРАЩИВАНИЯ

Гебеш Алина Владиславовна⁽¹⁾

Аспирант 2 курса⁽¹⁾,

кафедра «Технологии обработки материалов»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А.А. Холопов,

кандидат технических наук, доцент кафедры «Лазерные технологии в машиностроении»

В данной работе проводилось исследование особенностей формирования функционально-градиентной конструкции из электролитического никелевого порошка ПНЭ-1 и подложки из меди М1 методом прямого лазерного выращивания. Выявлена взаимосвязь превращения столбчатых зерен в дендриты по мере увеличения концентрации никеля в градиентной структуре. Сделаны выводы о влиянии предварительного подогрева субстрата на качество переходного медно-никелевого слоя: при стремительном отведении теплоты наблюдается значительное образование дефектов.

Метод прямого лазерного выращивания (ПЛВ) может найти применение в создании сопловых частей жидкостных ракетных двигателей, а также устройствах сгорания, в том числе в форсунках, для формирования компонентов почти окончательной формы с неотъемлемыми элементами, такими как гильзы, каналы для охлаждающей жидкости и коллекторы, объединяя эти элементы в единую крупномасштабную сборку, сохраняя при этом геометрию тонкостенных канавок или ребер и сводя к минимуму общую деформацию [1].

В ходе эксперимента была использована предварительно подогретая до температуры $T_0=400^{\circ}\text{C}$ тонкостенная подложка из меди марки М1 (твердая) с чистотой 99,96%. Образцы выращивались градиентно: между субстратом и композицией из электролитического никелевого порошка ПНЭ-1 был переходный слой с концентрацией элементов 1 к 1.

Варьировались такие параметры, как: мощность ($P_0=1200$ Вт; $P_{\max}=1500$ Вт; шаг 300 Вт), скорость обработки ($V_0=800$ мм/мин; $V_{\max}=1200$ мм/мин; шаг 200 мм/мин). Диаметр пятна $D_p=3$ мм и расход порошка $q=8$ г/мин оставались неизменными.

По итогам эксперимента тонкостенная медная подложка (толщина субстрата – 2 мм) была деформирована, произошла значительная усадка нижних валиков при нанесении верхних слоёв материала. Примечательно, что подобного не наблюдалось в работах [2, 3], где толщина подложки составляла порядка 10 мм. На границе раздела с медной подложкой обнаружено значительное дефектообразование.

Также стоит отметить, что предварительно до травления образцов был проведен анализ их пористости: среднее значение дефектов составило 3,89%. По результатам анализа литературы сделаны выводы о природе возникновения подобного порообразования и предложены варианты снижения дефектности переходного медно-никелевого слоя.

Выявлена взаимосвязь температурного градиента ванны расплава и окружающей воздушной среды с образовавшейся мелкодисперсной столбчатой структурой меди.

Также с учётом того, что лазерное выращивание происходило градиентно, обнаружено, что по мере увеличения концентрации никеля высокая температура процесса сохранялась дольше до момента охлаждения, что объясняется разницей поглотительных способностей Ni и Cu и создает условия для зарождения и роста дендритов в никелевой матрице.

Литература

1. *Grabl P., Greene S.E., Protz C., Bullard B., Buzzell J., Garcia C., Wood J., Cooper K.* Additive Manufacturing of Liquid Rocket Engine Combustion Devices: A Summary of Process Developments and Hot-Fire Testing Results // 54th AIAA/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference. – 2018. – 34 p.
2. *Гебеш А.В., Мельникова М.А., Холопов А.А.* Влияние параметров режима коаксиального лазерного плавления на геометрические характеристики валиков из никелевого сплава на медной подложке // XLVI Академические чтения по космонавтике: сб. тез.: в 4 т. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2022. – Т. 4. – С. 111-113.
3. *Гебеш А.В., Холопов А.А., Ломакин И.А.* Изучение особенностей сплавления и микроструктуры биметаллической медно-никелевой композиции, созданной методом прямого лазерного нанесения металла // XLVII Академические чтения по космонавтике: сб. тез.: в 4 т. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2023. – Т. 3. – С. 352-354.