ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

«Физическая мезомеханика.

**Материалы с многоуровневой иерархически
организованной структурой и интеллектуальные
производственные технологии»,**

**посвященная 90-летию со дня рождения
основателя и первого директора ИФПМ СО РАН
академика Виктора Евгеньевича Панина**

в рамках

**Международного междисциплинарного симпозиума
«Иерархические материалы: разработка и приложения
для новых технологий и надежных конструкций»**

**5–9 октября 2020 года
Томск, Россия**

Томск
Издательство ТГУ
2020

DOI: 10.17223/9785946219242/345

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ НАПРАВЛЕННОЙ СТРУКТУРЫ И ФАЗОВОГО СОСТАВА МАТЕРИАЛА АДДИТИВНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ НИКЕЛЕВОГО СУПЕРСПЛАВА

¹Фортуна С.В., ^{1,2}Гурьянов Д.А., ¹Никонов С.Ю., ¹Иванов К.В.

¹Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск

²НИИ Томский политехнический университет, Томск

Никелевые суперсплавы применяются в энергетическом и транспортном двигателестроении при производстве деталей горячего тракта газотурбинных установок. Детали данных систем работают при высоких температурах (650 – 1100°С). В связи с чем, материалы деталей должны обладать высокой длительной прочностью и устойчивостью к коррозии. Требуемые эксплуатационные характеристики обеспечиваются только никелевыми суперсплавами с направленной либо монокристаллической структурой. В настоящее время общемировой практикой является очень сложная и ресурсоемкая технология литья с направленной кристаллизацией. Переход к аддитивному производству позволяет более гибко управлять направлением роста структур за счет возможности изменения стратегии 3D печати. Кроме того, управление технологическими параметрами аддитивного процесса позволяет влиять на процесс кристаллизации посредством варьирования величины и направления температурного градиента, скорости кристаллизации и скорости охлаждения.

Повышение температурного градиента не только уменьшает расстояние между осями дендритов первого порядка [1], тем самым способствуя направленному росту, но и уменьшает объемную долю осей второго порядка. Что в свою очередь приводит к уменьшению сегрегации в междендритном пространстве [2]. Стоит отметить, что в сравнении с материалом в литом состоянии, объемная доля междендритного пространства и вторичных фаз в аддитивном изделии значительно меньше. Так, при металлографических и РЭМ исследованиях никелевого суперсплава ЖС6У в литом состоянии выявляются относительно крупные выделения эвтектик и карбидов (см. рис. 1(а)). В случае же изделия, полученного аддитивным методом, данные фазы не удается обнаружить средствами РЭМ, что может свидетельствовать об их отсутствии либо значительном измельчении.

Рис. 1. РЭМ изображения типичных структур суперсплава ЖС6У в литом состоянии (а) и после аддитивного выращивания (б)

Кроме основных фаз (γ и γ') в суперсплавах типа ЖС6У могут присутствовать вторичные фазы типа η , δ , σ , μ , Лавеса и карбиды четырех типов (MC , M_7C_3 , $M_{23}C_6$, M_6C). Наличие данных фаз можно предположить в полученном изделии, так как наблюдается значительная сегрегация титана, ниобия, молибдена и вольфрама в междендритном пространстве.

Основные параметры кристаллизации (температурный градиент и скорость кристаллизации) оказывают различное влияние на структуру и фазовый состав конечного

Секция 10. Аддитивные технологии формирования материалов, изделий и элементов конструкций с иерархически организованной структурой

изделия. Так повышение температурного градиента приведет к переходу от равноосных структур к столбчатым и утонению дендритных осей. В изделии, полученном электронно-лучевой аддитивной технологией на границе с подложкой наблюдаются наиболее тонкие дендриты и, следовательно, наибольшие величины температурного градиента. Расстояние между осями дендритов первого порядка по мере удаления от подложки увеличивается от 18 до 40 мкм, а температурный градиент уменьшается от 650 до 22°C/см.

Повышение скорости кристаллизации позволяет избавиться от нежелательных топологически плотноупакованных фаз (σ , μ , Лавеса) [3]. Однако, стремительная кристаллизация приводит к повышенному образованию дефектов, что делает необходимым искать компромиссное решение между формированием дефектов и нежелательных фаз.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-38-90072.

1. Zhang Y., Huang B., Li J. Microstructural Evolution with a Wide Range of Solidification Cooling Rates in a Ni-Based Superalloy // Metall. Mater. Trans. A. 2013. N 44. P. 1641–1644. <https://doi.org/10.1007/s11661-013-1645-7>.
2. Longhai Zhao, Yi Tan, Shuang Shi. Microsegregation behavior of Inconel 718 superalloy prepared by electron beam smelting layered solidification technology // Journal of Alloys and Compounds 833 (2020) 155019.
3. T. Antonsson, H. Fredriksson, The effect of cooling rate on the solidification of INCONEL 718, Metall. Mater. Trans. B 36 (2005) 85-96.