ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

**МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«Перспективные материалы с иерархической структурой
для новых технологий и надежных конструкций»**

**X МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«Химия нефти и газа»**

Томск

Издательский Дом ТГУ

2018

DOI: 10.17223/9785946217408/186

**ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ НАПРАВЛЕННОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ И
ТЕРМООБРАБОТКИ ПОСЛЕ ЛИТЬЯ НА МИКРОСТРУКТУРУ ЖАРОПРОЧНОГО
СПЛАВА ЖС30-ВИ**

¹Христосова В.Ю., ²Бондарева О.С., ^{1,2}Коновалов С.В.

¹*Самарский национальный исследовательский университет*

им. академика С.П. Королева, Самара, Россия

²*Wuhan Textile University, China*

hristosova@mail.ru, osbondareva@ssau.ru, ksv@ssau.ru

В современных реалиях непрерывной модернизации гражданского и военного авиастроения актуальной становится задача совершенствования технологии получения монокристаллических лопаток газотурбинных двигателей (ГТД). Наиболее перспективным методом литья является метод направленной кристаллизации, в процессе которого в жаропрочном сплаве на никелевой основе формируется сложная многоуровневая структура. Основной целью направленной кристаллизации является получение монокристалла, т.е. изделия, «выросшего» из одного зародыша и не имеющего на протравленной поверхности границ зерен [1]. В такой отливке все дендриты первого порядка сориентированы вдоль одного направления [001]. Основное упрочнение достигается за счет выделения частиц γ' -фазы на основе интерметаллида Ni_3Al . Кроме того в сплаве ЖС30-ВИ реализуется карбидное упрочнение. Размер структурных составляющих и степень дисперсности дендритной структуры лопаток оказывают непосредственное влияние на жаропрочность и механические характеристики изделия [2]. Вследствие того, что формирование дендритной структуры жаропрочных сплавов происходит на фронте кристаллизации в жидкотвердой зоне, основным фактором, определяющим размер структурных составляющих, являются тепловые условия: скорость кристаллизации, скорость охлаждения, температурный градиент. Термическая обработка монокристаллических ЖС обычно включает в себя гомогенизацию и старение и является необходимым этапом формирования микроструктуры сплава [3].

Таким образом, целью работы было исследование влияния скорости кристаллизации и термической обработки на дисперсность структурных составляющих монокристаллического сплава ЖС30-ВИ. Выплавка лопаток проводилась в установке вакуумной направленной кристаллизации с температуры 1650⁰С. Залитые формы перемещались из исходного положения в кристаллизатор с жидким алюминием температурой 625⁰С. Скорость вытягивания формы из нагревателя составляла 3, 8 и 20 мм/мин. Термообработка после литья включала в себя гомогенизацию (1270 ⁰С, 3 часа, воздух) и последующее старение (1050 ⁰С, 10 ч, воздух). Микроструктура лопаток определялась методами металлографии, электронной микроскопии и энергодисперсионного микроанализа.

Исследования макроструктуры показали, что монокристаллическая отливка формируется при скорости кристаллизации 3 мм/мин. При скоростях 8 и 20 мм/мин на поверхности отливки наблюдаются большеугловые границы зерен. Установлено, что увеличение скорости кристаллизации приводит к уменьшению междендритного расстояния и увеличению общего количества карбидов, при этом карбидов типа «китайских иероглифов» становится больше, а количество карбидов глобулярной формы уменьшается [4]. Увеличение количества карбидов делает сплав более хрупким, что нежелательно для монокристаллического жаропрочного сплава. Энергодисперсионный микроанализ показал, что в результате термической обработки происходит выравнивание химического состава осей дендритов и межосевых областей. Кроме того, происходит частичное растворение неравновесной эвтектики с образованием микропор и частичное растворение карбидов. Также результатом термической обработки является образование равномерно упорядоченной γ' -фазы, однородной по размеру 0,35-0,45 мкм, правильной кубической морфологии.

Анализ полученных данных показал, что увеличение скорости кристаллизации приводит к повышению дисперсности структурных составляющих сплава. Максимальная плотность

Секция 4. Научные основы разработки материалов с многоуровневой иерархической структурой, в том числе для экстремальных условий эксплуатации

дендритов, повышенная доля глобулярных карбидов по сравнению с карбидами типа «китайских иероглифов» соответствуют скорости кристаллизации 3 мм/мин. Кроме того при этой скорости удастся получить монокристаллические лопатки.

Полученные данные позволяют задавать технологические режимы, обеспечивающие получение желаемой степени дисперсности структурных составляющих или по результатам структурных исследований судить о правильности проведения технологического процесса.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (соглашение №14.578.21.0228, уникальный идентификатор работ (проекта) RFMEFI57817X0228)»

Литература

1. Литые лопатки газотурбинных двигателей: сплавы, технологии, покрытия. Изд. 2-е / Под общей ред. Е. Н. Каблова. – М.: Наука, 2006. – 632 с.
2. 7. Шалин Р.Е., Светлов И.Л., Качанов Е.Б., Толораия В.Н., Гаврилин О.С. Монокристаллы никелевых жаропрочных сплавов // Машиностроение. - 1997. – 336 с.
3. Бондаренко Ю. А., Ечин А. Б., Сурова В. А., Колодяжный М. Ю. Особенности структуры при направленной кристаллизации никелевого монокристаллического жаропрочного сплава // Металловедение и термическая обработка металлов. - 2017 -№1-38-42.
4. Семененко В.Е., Пилипенко Н.Н. Морфология карбидных фаз в эвтектических сплавах, полученных направленной кристаллизацией // Вопросы атомной науки и техники. 2003. Серия: Вакуум, чистые материалы, сверхпроводники (13), с.117-121.