

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НОВОГО НИКЕЛЕВОГО ЖАРОПРОЧНОГО СПЛАВА ДЛЯ МОНОКРИСТАЛЬНОГО ЛИТЬЯ

А.А. Ганеев, П.Н. Никифоров

Свойства наиболее распространенных в практике авиадвигателестроения лопаточных жаропрочных сплавов (ЖС) уже не удовлетворяют в полной мере современным условиям эксплуатации газотурбинных двигателей (ГТД) в связи с требованиями значительного увеличения ресурса и повышения рабочей температуры. Разработка же новых ЖС классическими методами требует больших затрат средств и времени. Поэтому весьма актуальной задачей является разработка и совершенствование расчетно - экспериментальных методов прогнозирования свойств и синтеза ЖС, опирающихся на использование методов математического моделирования.

В рамках общей концепции синтеза сплавов был разработан метод прогнозирования свойств никелевых ЖС для монокристалльного литья, базирующийся на оптимизации использования данных пассивного эксперимента, и предложен новый никелевый ЖС для монокристалльного литья УГАТУ-4.

С целью производственной апробации сплава УГАТУ-4 из чистых металлов в вакуумной индукционной плавильной печи УППФ-3М с электрокорундовым тиглем изготавливались заготовки сплава, из которых затем методом переплава отливались образцы для механических испытаний и заготовки деталей «Лопатка турбинная». Параллельно изготавливали аналогичные образцы и лопатки из серийного сплава ЖС32.

Отливка образцов и лопаток производилась в изготовленные по выплавляемым моделям оболочковые формы на основе электрокорунда. С целью обеспечения регламен-

тированной аксиальной кристаллографической ориентации (КГО) [001] в нижней части керамической формы выполняли конический стартер, который оканчивался затравочной полостью. В затравочную полость устанавливали затравки – цилиндры из сплава Ni-W (67 % Ni и 33 % W), имеющие заданную аксиальную КГО.

Переплав мерных заготовок сплавов, заливку форм и кристаллизацию проводили на установке для высокоскоростной направленной кристаллизации УВНК - 8П. После проведения высокотемпературной обработки расплава (ВТОР) при температуре 1730 ...1750 °С в течение 20 мин температуру металла снижали до 1540 ... 1560 °С и заливали формы при остаточном давлении $8 \cdot 10^{-2}$ мм рт. ст. Залитые формы для обеспечения направленного теплоотвода и стабилизации температуры на фронте кристаллизации погружали со скоростью 10 мм/мин в жидкометаллический кристаллизатор (алюминий А5) с температурой 700 °С до полного погружения в кристаллизатор замковой части лопаток. При снижении температуры блока отливок до 900 °С форму выводили из устройства для направленной кристаллизации.

Полученные образцы и лопатки подвергли термообработке, включающей гомогенизирующий отжиг в вакууме при температуре 1280 °С в течение 1,5 часов и старение при температуре 1000 °С в течение 2,5 часов с последующим охлаждением до температуры 100 °С со скоростью 45...60 °С/мин.

Отлитые изделия подвергались контролю методами, предусмотренными в серийном

Данное исследование частично поддержано Грантом РФ Т02-05.1-2750 «Фундаментальные исследования в области технических наук»

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НОВОГО НИКЕЛЕВОГО ЖАРОПРОЧНОГО СПЛАВА ДЛЯ МОНОКРИСТАЛЬНОГО ЛИТЬЯ

производстве: контролю структуры, проверке геометрии, рентгенопросвечиванию, люминесцентному контролю и цветной дефектоскопии.

Контроль аксиальной КГО осуществляли на дифрактометре ДРОН путём рентгеносъёмки с поперечного среза конуса-стартера. Допускалось отклонение не более 10° от ориентации [001].

Для исследования макроструктуры лопатки подвергались шлифовке, полировке и травлению в безводном реактиве Васильева (HCl – 1000 мл, H_2SO_4 – 50 мл, CuSO_4 – 200 г). Согласно ТУ, макроструктура лопаток должна быть монокристаллической по перу, а на замке допускается направленная ориентированная структура; равноосные зёрна любого размера не допускаются. Основным видом брака на лопатках из сплава ЖС32 является отклонение от регламентированной кристаллической макроструктуры, что объясняется наличием в нём углерода в количестве до 0,18 %. Это подтверждается тем, что наибольшее количество лопаток с дефектной макроструктурой было получено из плавов сплава ЖС32, в которых содержание углерода соответствовало его верхней предписанной ТУ границе. Сплав УГАТУ-4 не содержит углерода и не склонен к проявлению нерегламентированной структуры.

Рентгенопросвечивание показало отсутствие во всех отливках усадочных раковин и заметной пористости, а также полноту удаления керамики из внутренних полостей. Не обнаружено также трещин на поверхности лопаток при люминесцентном контроле и цветной дефектоскопии.

По результатам контроля качества отли-

вок из сплава УГАТУ-4 можем заключить, что исследуемый сплав в производственных условиях при литье по выплавляемым моделям обладает высокой технологичностью.

Исследование механических свойств сплавов проводили путем испытаний на растяжение согласно ГОСТ 1497 – 84 при комнатной температуре и длительную прочность и пластичность при высокой температуре согласно ГОСТ 10145 - 81. В результате сравнения свойств сплавов ЖС32 и УГАТУ-4 можем заключить, что при температуре 20°C свойства сплава УГАТУ-4 близки свойствам сплава ЖС32, а при температуре 1000°C сплав УГАТУ-4 превосходит серийный сплав по длительной прочности на 8...9 % и на 7...8 % – по пластичности. Это связано с тем, что, по сравнению со сплавом ЖС32, сплав УГАТУ-4 легирован большими количествами рения и тантала – тугоплавких элементов, резко замедляющих диффузионную подвижность элементов в ЖС, повышающих термостабильность частиц упрочняющей γ' -фазы и замедляющих их коагуляцию. Кроме того, отсутствие углерода и, соответственно, способных стать концентраторами напряжения частиц карбидной фазы неблагоприятной морфологии, делает сплав УГАТУ-4 более пластичным и менее склонным к преждевременному разрушению, а также дополнительно повышает термическую стабильность

С учётом того, что предлагаемый сплав обладает также высокой технологичностью, никелевый сплав УГАТУ-4 может быть рекомендован для литья турбинных лопаток ГТД методом высокоскоростной направленной кристаллизации.