

**ОДК****КЛИМОВ**

АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«ОДК-КЛИМОВ»

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Неруша Святослава Васильевича «Жаропрочные никелевые сплавы для селективного лазерного сплавления: особенности химического состава, структуры, механических и прочностных характеристик», представленной к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17– Материаловедение

В последнее время для реализации ряда проектов АГТД возникла принципиально новая научно-техническая задача - обеспечить работоспособность рабочих лопаток и сопловых аппаратов турбины высокого и низкого давления из жаропрочных никелевых сплавов при рабочих температурах до 1000°C включительно, изготовленных с применением аддитивных технологий в силу невозможности реализации конструкций при литье по выплавляемым моделям.

Поскольку технология селективного лазерного сплавления (СЛС) позволяет кардинально сокращать технологический цикл изготовления деталей, исключая, в том числе, сварные соединения, снижать расход материала, а также существенно сокращать время от проектирования до готового изделия в целом, то она при наличии нового класса жаропрочных никелевых сплавов, разработанных с учетом особенностей формирования структуры в процессе синтеза, становится основной альтернативой литью по выплавляемым моделям.

При этом следует решить основную проблему – устранить несовместимость жаропрочных литейных никелевых сплавов с условиями быстрой кристаллизации при СЛС (10^5 - 10^6 К/с), тем самым избежать образование в структуре синтезированного материала недопустимых дефектов в виде микротрещин, что приводит к низким значениям механических свойств, особенно таких структурно- чувствительных свойств как длительная прочность.

Таким образом, определение направлений создания номенклатуры нового класса жаропрочных никелевых сплавов для аддитивных технологий с целью обеспечения высокого комплекса физико-механических свойств при повышенных температурах является задачей актуальной и злободневной.

В научном плане автору удалось:

- ввести для использования обобщённый критерий трещиностойкости E для жаропрочных никелевых сплавов, получаемых методом селективного лазерного сплавления и подтвердить применимость предложенного критерия E для оптимизации химического состава и создания новых жаропрочных никелевых сплавов с объемной долей γ' -фазы 35–40 % (ВЖС1) и 63–67 % (ВЖС3), не склонных к образованию трещин при селективном лазерном сплавлении;

- выявить эффект подавления зародышеобразования избыточной γ' -фазы в пересыщенной метастабильной субструктуре сплава ВЖС1, сформированной в процессе селективного лазерного сплавления, обусловленный влиянием высоких скоростей кристаллизации микрообъемов ванны расплава и широкой однофазной областью существования γ -твёрдого раствора, способствующий предотвращению образования трещин;

- отметить формирование двойников отжига в структуре рекристаллизованных зерен синтезированного сплава ВЖС1 после полной термической обработки, способствующих повышению уровня сопротивления ползучести;

- установить бимодальное распределение γ' -фазы в синтезированных сплавах ВЖС1 и ВЖС3 после полной термической обработки, что определяет высокий уровень механических свойств во всем интервале рабочих температур.

В практическом плане:

- разработаны и защищены заявками на патенты новые жаропрочные никелевые сплавы для реализации технологии СЛС;

- разработаны технологические параметры селективного лазерного сплавления металлопорошковой композиции разработанных жаропрочных никелевых сплавов и выпущена необходимая для производства НД;

- проведены огневые стендовые испытания крыльчатки турбины из жаропрочного никелевого сплава ВЖС1 в составе малоразмерного газотурбинного двигателя тягой 80 кгс разработки ОАО "ЛИИП им. Гризодубовой В.С." и по результатам испытаний составлен Акт об опробовании и внедрении, принято решение о применении разработанного сплава в серийном изготовлении турбин;

- проведен комплекс механических испытаний на растяжение, длительную прочность и многоцикловую усталость синтезированного жаропрочного никелевого сплава ВЖС1 с расчетом ресурса работы рабочих лопаток и сопловых аппаратов турбины низкого давления двигателя ПД-26, по результатам испытаний составлен Акт о внедрении с заключением главного конструктора о возможности применения разработанного сплава для изготовления рабочих лопаток и сопловых аппаратов турбины низкого давления двигателя ПД-26 по технологии селективного лазерного сплавления.

Основные результаты диссертационных исследований опубликованы в 9 научных работах, из них в рецензируемых научных изданиях ВАК опубликовано 8 статей, получено 2 патента и подана 1 заявка на получение патента Российской Федерации.

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения по работе, списка литературы из 157 наименований.

Общий объем диссертации составляет 249 страниц, включая 69 рисунков и 14 таблиц.

В качестве замечаний можно отметить следующее:

1. Из автореферата не ясно, насколько возможно заимствование методологий из «литейной» практики применительно к разработке новых жаропрочных сплавов для аддитивных технологий и применительно к структуре

СЛС-сплавов, имея ввиду, в первую очередь, следующие параметры оптимизации состава:

- через оптимизацию содержания углерода и перераспределение карбидообразующих элементов для подавления ликвации;
- через критерий по среднему числу вакансий $\bar{N}_v < 2,40$ для оптимизации ТПУ-фаз;
- через минимизацию мисфита, регулируемую балансом элементов между γ - и γ' -подрешётками.

2. Из автореферата не ясно, каким образом функционал накопления дефектов (знаменатель обобщенного критерия трещиностойкости E) в соответствии с принятыми параметрами оптимизации состава по п.1 учитывает три различных механизма растрескивания - растрескивание в процессе кристаллизации, растрескивание от деформационного старения и зернограничное охрупчивание карбидными и боридными выделениями по границам зёрен.

3. В части практического использования результатов диссертационной работы из автореферата не видно:

- планируется ли выполнение работ по определению зависимости уровня указанных в работе механических свойств от различных применяемых установок АП? В частности, интересен разброс значений при использовании различных марок оборудования внутри одной линейки, а также оборудования различных производителей, в том числе, отечественных.

- планируется ли выполнение работ по исследованию влияния расположения детали в зоне построения на механические свойства материала? В частности, интересует вопрос, касающийся различий уровня механических характеристик для расположения детали в зоне одновременной работы нескольких лазерных источников (для многолазерных установок АП) от расположения в зоне работы единственного лазерного источника на деталь.

Указанные замечания ни в коей мере не снижают общую положительную и высокую в научном и практическом отношении оценку выполненной работы и проведенных исследований в целом, не умаляют научной значимости работы Неруша С.В., являются в основном рекомендательными и направлены на повышение научной и практической ценности работы для специалистов, занимающихся материаловедением и технологиями СЛС, а также внедрением новых материалов и конструкций в изделия.

Результаты работы могут быть востребованы и адаптированы при разработке новых перспективных проектов авиационных двигателей АО «ОДК-Климов».

Диссертация представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, которая выполнена на высоком научном уровне с использованием современных методов испытаний и имеет существенное значение для науки и промышленности. Диссертационная работа соответствует требованиям п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней» постановления Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г. к кандидатским диссертациям, а ее автор Неруш Святослав Васильевич заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17 – Материаловедение.

Генеральный конструктор



Проданов Евгений Степанович

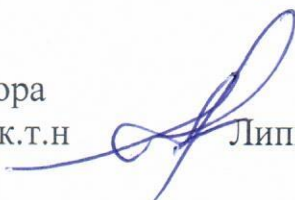
09.09.2026

Главный металлург



Кузьмин Олег Вадимович

Заместитель главного конструктора
по перспективным разработкам, к.т.н



Липин Алексей Владимирович

Начальник лаборатории
по исследованию материалов, к.т.н

Музафарова Светлана-Виктория
Рустамовна

Руководитель группы научных
программ- секретарь НТС

Илюшин Михаил Юрьевич

Отзыв составил:

Ведущий специалист
– руководитель группы УГМет
АО «ОДК- Климов»

Живушкин Алексей Алексеевич

Согласен на включение в аттестационное дело и дальнейшую обработку
моих персональных данных, необходимых для процедуры защиты диссертации
Неруша С.В.

Живушкин Алексей Алексеевич

Подписи Е.С.Проданова, О.В. Кузьмина, А.В. Липина, С.-В.Р. Музафаровой,
М.Ю.Илюшина и А.А.Живушкина заверяю.

Врио начальника отдела



Ильин С.А. Степаненко

Контактный телефон: (812) 640-69-73, доб. 7322, +7 (911) 121-32-84

Адрес: 194100, С.-Петербург, Кантемировская ул., д.11, стр.1 (ул. акад.
Харитона, д.8), Акционерное Общество «ОДК-Климов» (АО «ОДК-Климов»).

Факс: +7(812) 647-00-29; электронный адрес: klimov@klimov.ru