

ОТЗЫВ

научного руководителя на соискателя ученой степени кандидата технических наук Неруша Святослава Васильевича

Неруш Святослав Васильевич, 1987 года рождения, окончил Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» по специальности «Металлургия цветных металлов» в 2010 г.

Диссертационная работа на тему «Жаропрочные никелевые сплавы для селективного лазерного сплавления: особенности химического состава, структуры, механических и прочностных характеристик» была выполнена соискателем Нерушем С.В. в составе научного коллектива лаборатории «Порошковой металлургии и аддитивного производства» в федеральном государственном унитарном предприятии Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» (НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ) в рамках выполнения Дорожной картой по разработке и внедрению новых жаропрочных никелевых сплавов применительно к изготовлению заготовок рабочих лопаток и сопловых аппаратов ТНД методом СЛС для двигателя ПД-35(26) разработки АО «ОДК-Авиадвигатель», утвержденной академиком РАН Иноземцевым А.А.

Соискатель, работая в НИЦ «Курчатовский институт» - ВИАМ, прошел долгий профессиональный путь от инженера лаборатории 616 до начальника НИО «Технологии порошковой металлургии, аддитивного производства, сварки, защитных и специальных высокотемпературных покрытий, и материалов», непрерывно накапливая знания и развивая навыки как в области разработки материалов и технологий аддитивного производства, так и в организационном плане.

Неруш С.В. является лауреатом множества премий и наград, таких как «Авиастроитель года» (2012, 2016 г.); Стипендия работникам ОПК (2018, 2021 г.); Премия Правительства Москвы «Авиационная и космическая техника» (2018 г.);

Почетная грамота Министерства промышленности и торговли Российской Федерации (2021 г.); в ознаменование 85-й годовщины образования ФГУП «ВИАМ» награжден номерной юбилейной медалью по Приказу №221 от 28.06.2017 года; золотая медаль им. С.Т. Кишкина (2020 г.).

Принимал ключевое участие в разработке первых в Российской Федерации жаропрочных никелевых сплавов для роторных деталей перспективных газотурбинных двигателей непосредственно под технологию селективного лазерного сплавления, включая комплексную научно-исследовательскую работу по разработке технологии изготовления рабочих колес 1 и 2 ступеней двухконтурного турбореактивного двигателя ТРДД-200М из нового жаропрочного никелевого сплава марки ВЖС3.

Во время работы над диссертацией Неруш С.В. сформировался как специалист в области материаловедения жаропрочных никелевых сплавов, поставил перед собой и решил сложную научно-исследовательскую задачу по установлению особенностей создания жаропрочных никелевых сплавов с объемной долей γ' -фазы от 35 до 70 % для применения в технологии селективного лазерного сплавления, что позволило создать сплавы марок ВЖС1 и ВЖС3 для статорных и роторных деталей газотурбинных двигателей, работающих при температурах до 1000 °С.

Диссертантом проведены следующие исследования и получены новые результаты по теме диссертационной работе:

1. Проведена оптимизация химического состава жаропрочных никелевых сплавов с объемной долей γ' -фазы до 70 %, обеспечившая предотвращение образование трещин при селективном лазерном сплавлении и длительную прочность при 900 °С и 1000 °С близкую к литому ВЖЛ12У.

2. Создан свариваемый жаропрочный никелевый сплав марки ВЖС1 с рабочей температурой до 900 °С (длительная прочность $\sigma_{100}^{900} = 180$ МПа), превосходящий по уровню свойств все отечественные жаропрочные сплавы,

применяемые в технологии селективного лазерного сплавления, путем оптимизации химического состава Inconel939 с помощью предложенного обобщенного критерия трещиностойкости Ξ за счет сужения интервала кристаллизация ΔT_{sol} до 80°C и снижения температуры сольвуса $T_{solv}^{\gamma'}$ до 1095°C , замедления кинетики роста γ' -фазы и минимизации мисфита.

3. Создан высоколегированный жаропрочный никелевый сплав марки ВЖСЗ с объемной долей γ' -фазы 63-67 % и рабочей температурой до 1000°C (длительная прочность $\sigma_{100}^{1000} = 130 \text{ МПа}$) не имеющий прямых аналогов для технологии селективного лазерного сплавления путем применения комплексного подхода, заключающегося в оптимизации соотношений твердорастворных, γ' - и карбидообразующих легирующих элементов с использованием предложенного критерия трещиностойкости Ξ , что позволило подавить трещинообразование за счет сужения ΔT_{sol} до 80°C , уменьшения $T_{solv}^{\gamma'}$ до 1170°C и увеличения интервала $T_{sol} - T_{solv}^{\gamma'}$ до 130°C .

4. Исследовано влияние газостатической и термической обработки на эволюцию структуры и анизотропию механических свойств новых синтезированных жаропрочных никелевых сплавов марок ВЖС1 и ВЖСЗ в интервале температур от 20 до 1000°C .

5. Исследовано деформационное поведение сплава ВЖС1 в интервале температур от 800 до 1000°C при испытаниях на высокотемпературную ползучесть с оценкой действующих механизмов упрочнения.

6. Получены температурные зависимости механических свойств на растяжение, предела выносливости и параметра Ларсона-Миллера новых синтезированных жаропрочных никелевых сплавов марок ВЖС1 и ВЖСЗ в интервале температур от 20 до 1000°C для расчета ресурса работы рабочих лопаток и сопловых аппаратов турбины низкого давления двигателя ПД-26.

7. Установлен 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 при широкой однофазной областью $T_{sol} - T_{sol}^{\gamma'}$ порядка 180 °С, способствующий повышению технологичности и предотвращению трещинообразования.

8. Установлено бимодальное распределение γ' -фазы в синтезированных сплавах ВЖС1 и ВЖС3 после полной термической обработки за счет легирования танталом, замедляющим рост первичных, зародышеобразования и рост вторичных частиц γ' -фазы, что определяет высокий уровень механических свойств во всем интервале рабочих температур по сравнению с литейными сплавами. При этом для сплава ВЖС1 первичные и вторичные частицы γ' -фазы имеют исключительно округлую форму, тогда как для сплава ВЖС3 – первичная γ' -фазы имеет кубоидную морфологию, что обусловлено изменением мисфита при увеличении содержания алюминия и легировании ванадием.

Предложенные автором материаловедческие решения по легированию новых жаропрочных никелевых сплавов марок ВЖС1 и ВЖС3 отражены в заявках на изобретение в части химического состава № 2026105665 и № 2026105667, соответственно. Результаты исследований опубликованы в ведущих научных журналах, рекомендованных ВАК. На основании проведенной исследовательской работы получено свидетельство о регистрации «Ноу-Хау» на технологические параметры селективного лазерного сплавления нового жаропрочного сплава марки ВЖС1. Разработанный свариваемый жаропрочный никелевый сплав марки ВЖС1 с рабочей температурой до 900 °С внедрен в серийное производство детали «Крыльчатка турбины» малоразмерного газотурбинного двигателя разработки ОАО «ЛИИП им. Гризодубовой В.С.»

Диссертационное исследование Неруша С.В. является глубоким научно-практическим исследованием по актуальной проблеме создания и применения жаропрочных никелевых сплавов для изготовления роторных деталей газотурбинных двигателей по технологии селективного лазерного сплавления.

Диссертация удовлетворяет требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней к кандидатским диссертациям. Считая, что автор диссертации, Неруш С.В., заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.6.17. Материаловедение.

Доктор технических наук, профессор,
академик РАН, помощник президента
НИЦ «Курчатовский институт»

Каблов

Евгений Николаевич

27.05.2026

тел. (499) 196-92-99, e-mail nrcki@nrcki.ru

НИЦ «Курчатовский институт»

Москва, пл. Академика Курчатова, д. 1

Подпись Каблова Евгения Николаевича удостоверяю:

Заместитель директора –

Главный учёный секретарь

НИЦ «Курчатовский институт»



О.А. Алексеева