

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный конструктор,
Директор ОКБ им. А.Люльки-
филиала АО «ОДК-УМПО»
д.т.н., член-корреспондент РАН



Е.Ю. Марчуков



ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы

Неруша Святослава Васильевича

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

Тема диссертации С.В. Неруша посвящена одной из наиболее важных проблем современного авиационного двигателестроения. Переход к изготовлению рабочих лопаток и сопловых аппаратов турбины методом селективного лазерного сплавления (СЛС) сдерживается тем, что существующие литейные жаропрочные сплавы с высокой объемной долей γ' -фазы при скоростях кристаллизации 105–106 К/с склонны к образованию трещин, и получить на них приемлемые характеристики длительной прочности не удастся. Автор подошел к этой задаче по-другому – не адаптировать литейные сплавы к новой технологии, а проектировать химический состав исходя из условий синтеза. Для отечественной практики такая постановка задачи является новаторской. Актуальность работы подчеркивает тот факт, что она выполнена в рамках НИР шифр ССВ-253 по Дорожной карте с АО «ОДК-Авиадвигатель» применительно к двигателю ПД-35(ПД-26). Основным научным результатом работы является обобщенный критерий трещиностойкости, в котором одним безразмерным функционалом учтены три механизма растрескивания: растрескивание в процессе кристаллизации, растрескивание от деформационного старения и зернограницное охрупчивание карбидными и боридными

выделениями по границам зёрен. Критерий сформирован с привязкой к химическому составу и кинетике выделения γ' -фазы. Он проверен на сплавах, применяемых в СЛС, коэффициент детерминации при сопоставлении с объемной плотностью трещин составил 0,94. Интерес представляют и результаты по структуре – подавление зародышеобразования избыточной γ' -фазы в метастабильной субструктуре сплава ВЖС1 после синтеза, образование двойников отжига в рекристаллизованных зернах и бимодальное распределение частиц γ' -фазы после полной термической обработки, различающееся по морфологии у сплавов ВЖС1 (округлая) и ВЖС3 (кубическая).

Практическая значимость работы заслуживает отдельной положительной оценки. Разработаны и защищены два новых сплава. Сплав ВЖС1 с рабочей температурой до 900 °С (при 20 °С $\sigma_{\text{в}} = 1446$ МПа, $\sigma_{0,2} = 959$ МПа, $\delta = 19,3$ %; при 900 °С $\sigma_{\text{в}} = 504$ МПа, $\sigma_{0,2} = 469$ МПа; $\sigma_{100800} = 420$ МПа) по уровню свойств превосходит все отечественные сплавы, применяемые сегодня в СЛС, на него подана заявка на изобретение № 2026105665. Сплав ВЖС3 с объемной долей γ' -фазы 63–67 % и рабочей температурой до 1000 °С (при 1000 °С $\sigma_{\text{в}} = 436$ МПа, $\sigma_{0,2} = 340$ МПа; $\sigma_{1001000} = 130$ МПа) прямых аналогов для данной технологии не имеет, получен патент RU 2865727. По кривым Ларсона–Миллера сплав ВЖС3 располагается выше литейного сплава IN738LC во всем исследованном интервале и сопоставим со сплавом ВЖЛ12У. Выпущены технологические рекомендации на параметры селективного лазерного сплавления и на режимы газостатической и термической обработки для обоих сплавов (ТР 1.2.3195-2025, ТР 1.2.3196-2025, ТР 1.2.3236-2026, ТР 1.2.3239-2026). Наиболее весомым подтверждением работоспособности материала являются натурные испытания. Крыльчатка турбины из сплава ВЖС1 прошла испытания в составе малоразмерного газотурбинного двигателя тягой 80 кгс на огневом стенде ОАО «ЛИИП им. В.С. Гризодубовой». Последующий контроль не выявил в объеме детали дефектов размером свыше 130 мкм и деформаций от эксплуатационного нагружения. В АО «ОДК-Авиадвигатель» на образцах сплава ВЖС1 определен расширенный комплекс свойств с оценкой сопротивления многоциклового усталости и расчетом ресурса, по итогам которого выдано положительное заключение о применении сплава для рабочих лопаток и сопловых аппаратов ТНД двигателя ПД-26. По данным испытаниям и исследованиям оформлены акты об опробовании и внедрении. Доведение результатов работы до такой степени готовности к применению следует отнести к достоинствам диссертации.

По автореферату имеется замечание. Механические характеристики и данные по длительной прочности для сплава ВЖС3 приведены как средние значения, полученные на образцах, изготовленных в направлении XZ. Желательно было привести свойства данного сплава в направлении XY, аналогично свойствам сплава ВЖС1.

Высказанное замечание носит рекомендательный характер и не снижает общей положительной оценки работы. Автореферат изложен грамотно, поставленные задачи решены, выводы подтверждены экспериментально. Достоверность результатов обеспечена применением аттестованного оборудования и современных методов исследования (ПЭМ, РЭМ с дифракцией обратно рассеянных электронов, расчеты по методу CALPHAD), а также испытаниями в отраслевых организациях. По теме диссертации опубликовано 9 научных работ, из них 8 в изданиях перечня ВАК, получено 2 патента и подана 1 заявка на изобретение.

Считаю, что диссертационная работа «Жаропрочные никелевые сплавы для селективного лазерного сплавления: особенности химического состава, структуры, механических и прочностных характеристик» является законченной научно-квалификационной работой, в которой решена актуальная задача, имеющая существенное значение для авиационного двигателестроения, и соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842, а ее автор, Неруш Святослав Васильевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17 – Материаловедение.

Главный конструктор по изделию 295


А.В. Соловьева
06.10.2026 г.

Главный специалист – начальник отдела
технологического сопровождения проектов,
канд. тех. наук.


Д.Л. Кузьминский

Подписи Соловьевой А.В., Кузьминского Д.Л., Марчукова Е.Ю. удостоверяю

11.0. Начальник отдела кадров

Опытно-конструкторского

бюро им. А.Люльки

филиала АО «ОДК-УМПО»




Е.В. Киселев

Татьяна Геннадиевна
Самсонова