



**РОСАТОМ
МЕТАЛЛТЕХ**

ОРГАНИЗАЦИЯ АО «ТВЭЛ»

Общество с ограниченной
ответственностью «Росатом
Металлургические технологии»
(ООО «Росатом МеталлТех»)

ул. Рогова, д. 5а, Москва, 123098

Телефон: (499) 949-41-10

E-mail: metaltech@rosatom.ru

ОКПО 90657761, ОГРН 1117746228258

ИНН 7734653790, КПП 773401001

В диссертационный совет 75.1.018.01
Шпалерная ул., 49, Санкт-Петербург
191015, Россия
opnk-prometey@crism.ru

№ _____
На № 11/13-42 от 11.02.2025

Об отзыве на автореферат

НИИ «Курчатовский институт»- ЦНИИ КМ «Прометей»		
доу	Вх. № 1493/17	в ДЕЛО
	«15» 05 20 25 г.	№ _____
	Осн. 4 л.	подп. _____
	Прил. — л.	

Отзыв

на автореферат диссертационной работы Жукова Антона Сергеевича на тему:

«Разработка технологии селективного лазерного сплавления ферромагнитных материалов системы Fe-Cr-Ni(-Co) для получения на их основе элементов навигационной техники»,

представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17. – Материаловедение (технические науки)

Диссертационная работа Жукова Антона Сергеевича посвящена решению актуальной задачи, связанной с созданием элементов навигационной техники из ферромагнитных сплавов 25Х15КА и 80НХС с помощью технологии селективного лазерного сплавления.

Диссертационная работа полностью соответствует требованиям паспорта специальности 2.6.17. Материаловедение (технические науки) и п. 9 Положения о порядке присуждений ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 с изменениями, утвержденными Постановлениями Правительства РФ обладает научной новизной и практической значимостью.

К основным признакам, определяющим научную новизну диссертационной работы, следует отнести следующее:

1. Получены экспериментальные зависимости пористости прецизионных сплавов 80НХС, 25Х15К и ЮНДК, изготовленных селективным лазерным сплавлением, от гранулометрического состава сплавляемых порошков соответствующих марок и параметров энерговложения. Показано, что в интервале энерговложений от 0,23 до 0,37 Вт·с/мм достигается пористость менее 1 %, если 10 % частиц порошка имеют диаметр не более 12 мкм, 50 % частиц порошка имеют диаметр не более 37 мкм и 90 % частиц порошка имеют диаметр не более 77 мкм. При селективном лазерном сплавлении аустенитных сталей и ПЖРВ, у которых 50 % частиц порошка и 90 % частиц порошка имеют диаметр не более 30 мкм и 80 мкм, соответственно, пористость составляет не более 2 %, а интервал энерговложений сужается и составляет от 0,30 до 0,35 Вт·с/мм.

2. Предложен метод повышения коэффициента использования порошка прецизионного сплава 25Х15К за счет доизмельчения сферического порошка дисперсностью более 80 мкм и смешивания получаемого осколочного порошка дисперсностью менее 80 мкм со сферическим порошком дисперсностью менее 80 мкм. При лазерном сплавлении смеси сферического и осколочного порошков прецизионного сплава 25Х15К дисперсностью менее 80 мкм, полученных газовым распылением расплава и струйным измельчением, соответственно, в соотношении от 1:1 до 1:4, пористость материала увеличивается не более чем в 2 раза по сравнению с лазерным сплавлением сферического порошка той же марки.

3. Показано, что термическая обработка позволяет укрупнить размер зерна аддитивных ферромагнитных сплавов. Для сплава 80НХС режим термической обработки с выдержкой 9 ч при температуре 1300 °С позволил получить средний размер зерна 300 мкм, что обеспечивает достижение максимальной магнитной проницаемости 35710 Гс/Э.

4. Установлено, что коэрцитивная сила H_c аддитивных ферромагнитных сплавов 80НХС, 25Х15КА и ПЖРВ выше, чем у аналогичных материалов, полученных литьем или деформационной обработкой (3,1 А/м вместо 1,8 А/м, 45 кА/м вместо 40 кА/м и 582 А/м вместо 95 А/м, соответственно), поскольку размер зерна в ферромагнитных сплавах, полученных методом селективного лазерного сплавления, оказывается на порядок меньше.

Практическая значимость и реализация результатов работы заключаются в следующем:

1. Разработаны технологические инструкции на процесс получения экспериментальных образцов порошков магнитотвердых сплавов методом распыления расплава и методом струйного измельчения, что позволило впервые получить порошки магнитотвердых сплавов необходимой текучести и фракции менее 80 мкм, пригодные для СЛС.

2. Создана установка струйного измельчения порошков прецизионных сплавов 25X15K и ЮНДК для получения порошков осколочной формы дисперсностью менее 80 мкм из сферических порошков дисперсностью более 80 мкм.

3. Разработана технологическая инструкция на процесс изготовления постоянных магнитов методом селективного лазерного сплавления. Разработан и освоен новый технологический процесс изготовления селективным лазерным сплавлением порошка сплава 25X15КА магнитов кольцевой формы с минимальными допусками на механическую обработку, высокими магнитными и механическими свойствами (коэрцитивная сила по индукции 46,5 кА/м, индукция на полюсах 31 мТл, синусоидальная форма распределения магнитной индукции в контрольной системе с показателями ангармоничности $K_2 = 2,85\%$ и $K_3 = 22,36\%$ при установленных требованиях к данным коэффициентам не более 25 %, твердость 482 МПа вместо 354 МПа и ударная вязкость 65 Дж/см² вместо 7,85 Дж/см²) и с исключением операции гомогенизационного отжига при термоманитной обработке, что подтверждено актом внедрения в производственную деятельность АО «Спецмагнит», Москва и патентом на изобретение №2800905, дата приоритета 17 октября 2022 г.

4. Разработан и освоен новый технологический процесс изготовления селективным лазерным сплавлением порошка сплава 80НХС экранирующих корпусов гироскопов с минимальными допусками на механическую обработку, требуемыми магнитными свойствами и вакуумной плотностью $1,2 \cdot 10^{-11}$ м³·Па/с, что подтверждено актом внедрения в производственную деятельность АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», Санкт-Петербург, и патентом на изобретение №2822540, дата приоритета 7 августа 2023 г.

В целом, работа является важной и актуальной, так как в ней основное внимание обращено на детали гироскопов – кольцевые постоянные магниты из магнитотвердых сплавов и аддитивные магнитоэкранирующие корпуса, а также на возможность заменить стандартную технологию их изготовления на аддитивную – селективное лазерное сплавление, что повышает темпы производства изделий и снижает уровень брака.

Основные научные результаты работы представлены в 17 публикациях, из них 9 статей в журналах, рекомендованных перечнем ВАК, 10 публикаций в изданиях, индексируемых в международных базах данных Scopus и Web of Science, 3 патента. Полученные результаты докладывались на ведущих научных конференциях по тематике диссертации.

Таким образом, автор диссертационной работы, Жуков Антон Сергеевич, заслуживает присвоения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17. – Материаловедение (технические науки).

Начальник цеха ОП
Электросталь



Камынин Антон
Владимирович

Гавриков И.С.
(910) 4629483

ознакомлен *тп*

16.05.25