

**РЕШЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА УрФУ 2.6.01.04
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК**

от «30» ноября 2023 г. № 12

о присуждении Осинцеву Кириллу Александровичу, гражданство Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Влияние электронно-пучковой обработки на структуру и механические свойства высокоэнтропийного сплава Al-Co-Cr-Fe-Ni, изготовленного с помощью аддитивного производства» по специальности 2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов принята к защите диссертационным советом УрФУ 2.6.01.04 «02» октября 2023 г. протокол № 10.

Соискатель, Осинцев Кирилл Александрович, 1996 года рождения, в 2020 г. окончил магистратуру ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» по направлению подготовки 22.04.02 Metallургия;

обучается в очной аспирантуре ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» по направлению подготовки 22.06.01 Технологии материалов (Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов), предполагаемый срок окончания обучения – 31.08.2024 г.;

работает в ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» в штатной должности инженера кафедры технологии металлов и авиационного материаловедения и по совместительству в должности младшего научного сотрудника ОНИЛ-4 (Отраслевая научно-исследовательская лаборатория авиационного материаловедения);

работает по совместительству в ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет» в должности младшего научного сотрудника в отделе управления научных исследований, тема Т-245.

Диссертация выполнена на кафедре технологии металлов и авиационного материаловедения ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», Минобрнауки России, и на кафедре естественнонаучных дисциплин имени профессора В.М. Финкеля ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк, Минобрнауки России.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор, Коновалов Сергей Валерьевич, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», проректор по научной и инновационной деятельности.

Официальные оппоненты:

Жеребцов Сергей Валерьевич, доктор технических наук, доцент, ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», Институт инженерных и цифровых технологий, кафедра «Материаловедение и нанотехнологии», профессор;

Астафурова Елена Геннадьевна, доктор физико-математических наук, доцент, ФГБУН Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук, г. Томск, лаборатория физики иерархических структур в металлах и сплавах, заведующий лабораторией;

Степанов Степан Игоревич, кандидат технических наук, доцент, ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», кафедра термообработки и физики металлов, доцент

дали положительные отзывы на диссертацию.

Соискатель имеет 26 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 26 работ, из которых 11 работ, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, определенных ВАК РФ и Аттестационным советом УрФУ, в том числе 4 статьи, проиндексированных

в международной базе цитирования Scopus; 2 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ; 1 патент РФ на изобретение; 2 коллективных монографии. Общий объем опубликованных работ – 24,63 п.л., авторский вклад – 4,48 п.л.

Основные публикации по теме диссертации

статьи, опубликованные в рецензируемых научных изданиях, определенных ВАК РФ и Аттестационным советом УрФУ:

1. Осинцев, К. А. Моделирование напряженно-деформированного состояния высокоэнтропийного сплава системы Al-Co-Cr-Fe-Ni, обработанного электронным пучком / **К. А. Осинцев**, С. В. Коновалов, Ю. Ф. Иванов, С. В. Воронин, И. И. Левин, В. С. Данилушкин, В. Е. Громов, И. А. Панченко // *Фундаментальные проблемы современного материаловедения*. – 2022. – Т. 19. – № 3. – С. 376–383. (0,4375 п.л./ 0,0547 п.л.).

2. Nevskii, S. Modeling the mechanism of micro/nanostructured surface formation in Al-Co-Cr-Fe-Ni and Co-Cr-Fe-Mn-Ni high-entropy alloys treated with a high current pulsed electron beam / S. Nevskii, V. Sarychev, S. Konovalov, **К. Osintsev**, Yu. Ivanov, I. Panchenko, V. Gromov // *Письма о материалах*. – 2022. – V. 12. – № 3. – P. 249-254. (0,3125 п.л./ 0,0446 п.л.).

3. Осинцев, К. А. Структурно-фазовое состояние высокоэнтропийного сплава Al-Co-Cr-Fe-Ni, полученного проволочно-дуговой аддитивной технологией / **К. А. Осинцев**, В. Е. Громов, С. В. Коновалов, Ю. Ф. Иванов, И. А. Панченко // *Ползуновский вестник*. – 2021. – № 1. – С. 141–146. (0,3125 п.л./ 0,0625 п.л.).

4. Nevskii, S. The mechanism of formation of surface micro-and nanostructures in the alcocrfeni high-entropy alloy during electron-beam treatment / S. Nevskii, S. Konovalov, **К. Osintsev**, Yu. Ivanov, A. Granovskii, V. Gromov // *Письма о материалах*. – 2021. – V. 11. – № 3. – P. 309–314. (0,3125 п.л./ 0,0521 п.л.).

5. Osintsev, K. Microstructural and mechanical characterisation of non-equiatomic Al_{2.1}Co_{0.3}Cr_{0.5}FeNi_{2.1} high-entropy alloy fabricated via wire-arc

additive manufacturing / **K. Osintsev**, S. Konovalov, V. Gromov, I. Panchenko, Yu. Ivanov // *Philos. Mag. Lett.* – 2021. – V. 101. – № 9. – P. 353–359. (0,3125 п.л./ 0,0446 п.л.). (Scopus)

6. Osintsev, K. Research on the structure of Al_{2.1}Co_{0.3}Cr_{0.5}FeNi_{2.1} high-entropy alloy at submicro- and nano-scale levels / **K. Osintsev**, S. Konovalov, A. Glezer, V. Gromov, Yu. Ivanov, I. Panchenko, R. Sundeev // *Mater. Lett.* – 2021. – V. 294. – 129717. (0,25 п.л./ 0,0357 п.л.). (Scopus)

7. Osintsev, K. Evolution of structure in AlCoCrFeNi high-entropy alloy irradiated by a pulsed electron beam / **K. Osintsev**, V. Gromov, Y. Ivanov, S. Konovalov, I. Panchenko, S. Vorobyev // *Metals.* – 2021. – V. 11. – № 8. – 1228. (0,875 п.л./ 0,1458 п.л.). (Scopus)

8. Osintsev, K. Phase composition prediction of Al-Co-Cr-Fe-Ni high entropy alloy system based on thermodynamic and electronic properties calculations / **K. Osintsev**, S. Konovalov, V. Gromov, I. Panchenko, X. Chen // *Materials Today: Proceedings.* – 2021. – V. 46. – P. 961–965. (0,25 п.л./ 0,05 п.л.). (Scopus)

9. Иванов, Ю.Ф. Деформационное поведение высокоэнтропийного сплава системы Al-Co-Cr-Fe-Ni, изготовленного методом проволочно-дугового аддитивного производства / Ю. Ф. Иванов, **К. А. Осинцев**, В. Е. Громов, С. В. Коновалов, И. А. Панченко // *Известия высших учебных заведений. Черная металлургия.* – 2021. – Т. 64. – № 1. – С. 68–74. (0,375 п.л./ 0,075 п.л.).

10. Осинцев, К. А. Влияние облучения импульсным электронным пучком на структуру поверхности неэквивалентного высокоэнтропийного сплава системы Al-Co-Cr-Fe-Ni / **К. А. Осинцев**, В. Е. Громов, С. В. Коновалов, Ю. Ф. Иванов, И. А. Панченко, С. Чэнь // *Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования.* – 2021. – № 8. – С. 76–81. (0,3125 п.л./ 0,0521 п.л.).

11. Осинцев, К. А. Высокоэнтропийные сплавы: структура, механические свойства, механизмы деформации и применение / **К. А. Осинцев**, В. Е. Громов, С. В. Коновалов, Ю. Ф. Иванов, И. А. Панченко //

Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2021. – Т. 64. – № 4. – С. 249–258. (0,5625 п.л./ 0,1125 п.л.).

Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ:

12. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2021667530 Российская Федерация. Программа WAAMwire_v.1 для расчета химического состава изделий, изготавливаемых с помощью комбинированной проволоки по технологии проволоочно-дугового аддитивного производства / **Осинцев К. А.**, Коновалов С. В., Панченко И. А., Громов В. Е. ; заявитель и правообладатель Сибирский гос. инд. унив. – № 2021666557 ; заявл. 20.10.21 ; опубл. 29.10.21, Бюл. № 11. – 1 с. (0,0625 п.л./ 0,0156 п.л.).

13. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2020666726 Российская Федерация. Программа HEAPredict_v.1 для расчета термодинамических критериев и прогнозирования фазового состава пятикомпонентных высокоэнтропийных сплавов / **Осинцев К. А.**, Коновалов С. В., Панченко И. А., Громов В. Е. ; заявитель и правообладатель Сибирский гос. инд. унив. – № 2020665373 ; заявл. 26.11.20 ; опубл. 15.12.20, Бюл. № 12. – 1 с. (0,0625 п.л./ 0,0156 п.л.)

Патент РФ:

14. Пат. 2759347 Российская Федерация, МПК⁵¹ В23К 35/30, В23К 35/08, В21F 15/04, В21С 23/22. Многокомпонентная проволока для получения высокоэнтропийного сплава AlCoCrFeNi / Загуляев Д. В., **Осинцев К. А.**, Коновалов С. В., Громов В. Е, Панченко И. А; заявитель и патентообладатель Сибирский гос. индустр. университет. – № 2021106005 ; заявл. 09.03.21 ; опубл. 12.11.21, Бюл. № 32. – 8 с. (0,5 п.л./ 0,1 п.л.).

На автореферат поступили отзывы:

1. **Батаева Анатолия Андреевича**, доктора технических наук, профессора, профессора кафедры химии и химической технологии, ректора ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет». Содержит замечание, касающееся рисунка 14 автореферата, на котором приведены профили износа образцов, полученных при различных значениях

плотности энергии электронного пучка. С увеличением этого параметра от 10 до 30 Дж/см² износостойкость материала монотонно возрастает, однако не понятен ход зависимости при дальнейшем увеличении плотности энергии.

2. **Емелюшина Алексея Николаевича**, доктора технических наук, профессора, профессора кафедры литейных процессов и материаловедения ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Содержит замечания, касающиеся причины выбора системы легирования Al-Co-Cr-Fe-Ni и соотношения компонентов в этой системе, а также отсутствия условий проведения трибологических испытаний, фотографии изношенной поверхности и обоснования предположения о том, что кристаллиты менее 200 нм «могут выступать в качестве твердой смазки при откалывании от поверхности и уменьшать износ».

3. **Симонова Юрия Николаевича**, доктора технических наук, профессора, заведующего кафедрой «Металловедение, термическая и лазерная обработка металлов», и **Юрченко Александра Николаевича**, младшего научного сотрудника лаборатории методов создания и проектирования систем «Материал-технология-конструкция» ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет». Содержит замечание, касающееся необходимости сравнения полученных механических свойств данного сплава до и после электронно-пучковой обработки со свойствами высокоэнтропийных сплавов подобного химического состава после воздействия других обработок или со свойствами других сплавов с абсолютно другим химическим составом после электронно-пучковой обработки. Содержит замечания, в которых указано об отсутствии результатов испытаний на растяжение в автореферате диссертации и наличии в автореферате диссертации опечаток.

Выбор официальных оппонентов обосновывается их широкой известностью своими достижениями и исследованиями в области металлостроения высокоэнтропийных сплавов, а также аддитивных технологий, наличием публикаций в ведущих рецензируемых изданиях.

Диссертационный совет отмечает, что представленная диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук соответствует п. 9 Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ, является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований содержится решение научной задачи по установлению влияния различных режимов высокоинтенсивной импульсной электронно-пучковой обработки на структурно-фазовое состояние и механические характеристики высокоэнтропийного сплава системы Al-Co-Cr-Fe-Ni, изготовленного методом проволочно-дугового аддитивного производства, имеющей существенное значение для развития металловедения.

Диссертация представляет собой самостоятельное законченное исследование, обладающее внутренним единством. Положения, выносимые на защиту, содержат новые научные результаты и свидетельствуют о личном вкладе автора в науку:

1. Предложена методика по расчету химического и фазового состава высокоэнтропийного сплава (ВЭС), изготавливаемого с помощью проволочно-дугового аддитивного производства с использованием многожильной проволоки.

2. Установлено, что изготовленный методом проволочно-дугового аддитивного производства ВЭС $\text{Al}_{36}\text{Co}_5\text{Cr}_8\text{Fe}_{17}\text{Ni}_{34}$ характеризуется сложной микроструктурой, состоящей из основной фазы AlNi с типом строения упорядоченной ОЦК/B2 решетки и включений вторых фаз Al_3Ni , Cr_3C_2 и $(\text{Ni},\text{Co})_3\text{Al}_4$, выделившихся в междендритных областях.

3. Показано, что ВЭС в исходном состоянии обладает твердостью $465 \pm 12 \text{ HV}_1$ и при деформации демонстрирует хрупкий механизм разрушения. Временное сопротивление материала при сжатии составляет 1361 МПа, условный предел текучести 523 МПа и относительная деформация до разрушения 7 %.

4. Установлено, что электронно-пучковая обработка (ЭПО) с плотностью энергии 10 Дж/см² не приводит к полной перекристаллизации

дендритной структуры сплава. С увеличением плотности энергии до 20 и 30 Дж/см² дендритная структура плавится, и на поверхности формируется ячеистая структура с размерами ячеек 100-200 нм. Показано, что толщина обработанного слоя на поверхности сплава увеличивается с ростом плотности энергии пучка электронов от 5 до 15 мкм.

5. Выявлено, что ЭПО приводит к увеличению однородности распределения химических элементов в структуре поверхностного слоя сплава. Наибольшая однородность химического состава достигается при ЭПО с плотностями энергии 20 и 30 Дж/см². Гомогенизация после ЭПО сопровождается растворением вторых фаз, обнаруженных в междендритных пространствах сплава в исходном состоянии.

6. Установлено, что ЭПО приводит к увеличению прочности материала. Наибольшее значение временного сопротивления на сжатие 2179 МПа было получено в сплаве при ЭПО с плотностью энергии 30 Дж/см², что превышает исходную величину в 1,6 раз. Условный предел текучести при сжатии составил 522 МПа, а деформация до разрушения 16 %. ЭПО приводит к уменьшению скорости износа в 2 раза с увеличением плотности энергии пучка электронов.

Результаты исследования, полученные в ходе выполнения диссертационной работы, продемонстрировали возможность изготовления высокоэнтропийного сплава с заданным химическим и фазовым составом с помощью проволочно-дугового аддитивного производства с использованием многожильной проволоки. Показана эффективность ЭПО для улучшения свойств поверхности высокоэнтропийного сплава $Al_{36}Co_5Cr_8Fe_{17}Ni_{34}$, изготовленного с помощью проволочно-дугового аддитивного производства, которая выражается в формировании мелкозернистой ячеистой структуры и увеличении однородности распределения химических элементов. Использование данного метода поверхностной модификации уменьшает скорость износа и коэффициент трения высокоэнтропийного сплава, а также улучшает механические свойства.

На заседании 30 ноября 2023 г. диссертационный совет УрФУ 2.6.01.04 принял решение присудить Осинцеву К.А. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет УрФУ 2.6.01.04 в количестве 19 человек, из них 6 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 23 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 18, против – нет, недействительных бюллетеней – 1.

Председатель
диссертационного совета
УрФУ 2.6.01.04

Ученый секретарь
диссертационного совета
УрФУ 2.6.01.04

30.11.2023 г.



Попов Артемий Александрович

Селиванова Ольга Владимировна