

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по науке

Пермского национального

исследовательского

политехнического университета,

доктор физ. мат. наук, доцент

Швейкин А.И.

*Швейкин* 2023 г.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

федерального государственного автономного образовательного учреждения  
высшего образования

«Пермский национальный исследовательский политехнический университет»  
Министерства науки и высшего образования Российской Федерации

Диссертация «Послойная плазменная наплавка сталей аустенитного класса типа 308LSi для аддитивного производства» выполнена на кафедре «Сварочное производство, метрология и технология материалов».

В период подготовки диссертации соискатель Душина Алена Юрьевна работала в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», на кафедре «Сварочное производство, метрология и технология материалов» в должности старшего преподавателя.

В 2004 году окончила Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Пермский государственный технический университет» по направлению «Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств».

В 2022 году окончила аспирантуру очной формы обучения федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический

университет» по направлению «Машиностроение» (период обучения «01» октября 2018 г. по «30» сентября 2022 г.).

Научный руководитель – доктор технических наук, доцент Ольшанская Татьяна Васильевна, работает профессором кафедры «Сварочное производство, метрология и технология материалов».

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

1. Личное участие автора в получении результатов, изложенных в диссертации, заключается в следующем:

– выполнен анализ способов послойной проволочной наплавки и технологических приемов, позволяющих получать мелкозернистую структуру;

– проведен анализ литературных данных об особенностях кристаллизации сталей аустенитного класса и влиянии скорости охлаждения на кристаллизацию;

– проведены исследования экспериментальных образцов методом оптической микроскопии с применением программных комплексов ВидеоТест Размер и ВидеоТест Металл;

– выполнены измерения микротвердости наплавленных образцов, проведен статистический анализ, построены зависимости;

– обработаны, проанализированы и интерпретированы результаты исследований, проведенных методом растровой электронной микроскопии и рентгенофазового анализа.

2. Научная новизна диссертационного исследования заключается в следующем:

– Установлено, что при градиенте температур по фронту кристаллизации более  $550^{\circ}\text{C}/\text{мм}$  кристаллизация сталей аустенитного класса идет по феррито-аустенитному механизму. При уменьшении градиента – кристаллизация идет по 2 механизмам: феррито-аустенитному и аустенито-ферритному. При кристаллизации металла по аустенито-ферритному механизму более 10 % возможно выделение мелкодисперсных карбидов в междендритном пространстве (эффект самостарения).

– Определены способы уменьшения степени трансформитного роста зерен и снижения анизотропии механических свойств при послойной наплавке сталей аустенитного класса: модуляция тока дуги и послойная холодная пластическая деформация.

– Установлено повышение коррозионной стойкости сталей аустенитного класса получаемых послойной плазменной наплавкой с модуляцией тока и плазменной наплавкой плавящимся электродом с послойным холодным деформированием.

### 3. Степень достоверности результатов проведенных исследований

подтверждается использованием современного высокоточного оборудования и программного обеспечения с широкими возможностями анализа данных; применением современных методов исследования, большим объемом экспериментальных исследований, а также непротиворечивостью полученных результатов имеющимся данным других исследователей и известным теоретическим представлениям.

### 4. Практическая и теоретическая значимость диссертационного исследования

– Расширены представления о процессах кристаллизации сталей аустенитного класса с пороговым ферритным числом FN 8 при плазменной наплавке и плазменной наплавке плавящимся электродом.

– Экспериментально показано повышение механических свойств сталей аустенитного класса при плазменной наплавке посредством модуляции тока, а также за счет холодной пластической деформации при плазменной наплавке плавящимся электродом.

– Результаты диссертационного исследования применены на АО «Пермский завод «Машиностроитель» при наплавке опытных заготовок из хромоникелевой стали детали проточной части перспективного авиационного двигателя.

### 5. Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем

По теме диссертационного исследования Душиной Алены Юрьевны опубликовано 15 научных работ, в том числе 4 в журналах, входящих в

международные базы цитирования Scopus или Web of Science, 3 в изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией при Министерстве науки и высшего образования РФ.

Наиболее значимые работы:

1. Влияние частоты тока в процессе импульсной послойной плазменной наплавки на структуру и свойства высоколегированной стали при аддитивном формировании изделий / **А. Ю. Душина**, Т. В. Ольшанская, С. Д. Неулыбин [и др.] // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. – 2021. – Т. 23. – № 2. – С. 20-26. – DOI 10.15593/2224-9877/2021.2.03 [ВАК].

*Соискателем принято участие в исследованиях экспериментальных образцов методом оптической микроскопии, проведен анализ результатов, выбрана частота тока для импульсной послойной плазменной наплавки аустенитной стали 308LSi при аддитивном формировании изделий.*

2. Исследование влияния технологических приемов на формирование структуры и свойств при аддитивном выращивании изделий из хромоникелевых сталей аустенитного класса методами плазменной наплавки / Т. В. Ольшанская, **А. Ю. Душина**, Е. М. Федосеева, Д. Н. Трушников // Сварочное производство. - 2022. - № 9 (1054). - С. 5-16. [ВАК].

*Соискателем выполнены металлографические исследования и проанализированы результаты влияния изменения тепловой мощности источника во времени посредством модуляции тока на примере плазменной наплавки, а также изменения исходной структуры за счет послойной холодной проковки наплавленных слоев, на примере плазменной наплавки плавящимся электродом (Плазма-МИГ).*

3. Microstructure and Properties of the 308LSi Austenitic Steel Produced by Plasma-MIG Deposition Welding with Layer-by-Layer Peening / Т. Olshanskaya, D. Trushnikov, **A. Dushina**, A. Ganeev, A. Polyakov, I. Semenova // Metals [Electronic resource]. - 2022. - Vol. 12, Iss. 1, January. - Art. 82. - 14 p. - URL: <https://www.mdpi.com/2075-4701/12/1/82/htm> (дата обращения: 20.12.2022). - DOI 10.3390/met12010082. [Web of Science]

*Соискателем выполнены измерения микротвердости наплавленных образцов, проведен статистический анализ измерений для оценки влияния холодной пластической деформации методом послойной проковки на микроструктуру и свойства заготовки из стали 308LSi, полученной методом плазменной наплавки плавящимся электродом.*

4. Olshanskaya T. V., **Dushina A. Y.**, Trushnikov D. N. Research of the technological methods influence on the formation of structure and properties during the additive growth of products from nickel chromium steels of the austenitic class by plasma-jet hard facing methods //Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2022. – Т. 2275. – №. 1. – С. 012003. [Scopus].

*Соискателем проанализированы и интерпретированы результаты исследований методом оптической и растровой электронной микроскопии для оценки влияния модуляции тока и холодной пластической деформации при плазменной наплавке на транскристаллизацию наплавленного металла.*

Прочие работы по теме диссертационного исследования:

5. Влияние технологий наплавки на структурообразование жаропрочных никелевых сплавов / Е. А. Кривоносова, Ю. Д. Щицын, Д. Н. Трушников, А. В. Мышкина, С. Н. Акулова, С. Д. Неулыбин, **А. Ю. Душина** // *Металлург*. - 2019. - № 2. - С. 68-73 [ВАК].

*Переводная версия:* Influence of Surfacing Technologies on Structure Formation of High-Temperature Nickel Alloys / E. A. Krivonosova, Y. D. Shchitsyn, D. N. Trushnikov, A. V. Myshkina, S. N. Akulova, S. D. Neulybin, A. Y. Dushina // *Metallurgist = Metallurg (Metallurg)*. - 2019. - Vol. 63, № 1-2- P. 197-205 [Web of Science].

*Соискатель принял участие в металлографических исследованиях влияния ультразвуковой обработки при аргонодуговой наплавке на структурообразование жаропрочных сплавов.*

6. Influence of the Current Frequency in Pulsed Plasma Surfacing on the Strength of High-Alloy Steel in Additive Technology / Y. D. Shchitsyn, T. V. Ol'shanskaya, S. D. Neulybin, R. G. Nikulin, **A. Y. Dushina** // *Russian Engineering Research*. - 2021. - Vol. 41, № 9. - P. 845847. [Scopus].

*Соискателем выполнена часть металлографических исследований экспериментальных образцов для оценки влияния модуляции тока при многослойной наплавке высоколегированной стали 308LSi.*

Основные результаты проведенных исследований докладывались, обсуждались на 6 региональных, всероссийских и международных научно-технических конференциях, форумах и семинарах. Среди них: IX-я Международная конференция «Кристаллизация: компьютерные модели, эксперимент, технологии», г. Ижевск, апрель 2022 г.; IV-я Международная конференция «Электронно-лучевая сварка и смежные технологии», г. Москва, ноябрь 2021 г.; V-я Международная научно-практическая конференция молодых ученых, аспирантов и студентов «Электрофизические методы обработки в современной промышленности», г. Пермь, декабрь 2021 г.; Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Химия. Экология. Урбанистика», г. Пермь, апрель 2020 г.

6. Соответствие содержания диссертации специальности, по которой она рекомендуется к защите

Представленная Душиной Аленой Юрьевной диссертационная работа является прикладным исследованием, направленным на повышение механических и эксплуатационных характеристик изделий из аустенитных сталей при послойной плазменной наплавке. В работе исследовано влияние модуляции тока и послойной холодной пластической деформации при плазменной наплавке на процессы кристаллизации и формирование структуры сталей аустенитного класса.

Указанная область исследования соответствует формуле паспорта специальности 2.5.8. Сварка, родственные процессы и технологии.

Пункту 2 – «Металлургические процессы в сварочной ванне, кристаллизация сварных швов».

Пункту 3 – «Физические процессы в материалах при сварке и родственных технологиях, фазовые и структурные превращения, образование соединений и формирование их свойств».

7. Соответствие диссертационной работы требованиям, «Положения о присуждении ученых степеней», «Порядка присуждения ученых степеней в ПНИПУ».

Диссертация Душиной Алены Юрьевны отвечает требованиям п.14 «Положения о присуждении ученых степеней» постановления Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842, требованиям «Порядка присуждения ученых степеней в ПНИПУ», предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Диссертация «Послойная плазменная наплавка сталей аустенитного класса типа 308LSi для аддитивного производства» Душиной Алены Юрьевны рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности «Сварка, родственные процессы и технологии».


Заключение принято на заседании кафедры «Сварочное производство, метрология и технология материалов».

Присутствовало на заседании 18 чел. Результаты голосования: «за» – 18 чел., «против» – 0, «воздержалось» – 0, протокол № 6 от «13» декабря 2022 г.

Заведующий кафедрой  
«Сварочное производство,  
метрология и технология материалов»  
д-р техн. наук, профессор

  
\_\_\_\_\_ / ШИЦЫН Ю.Д./  
подп. ФИО

Ученый секретарь кафедры  
«Сварочное производство,  
Метрология и технология материалов»  
канд. техн. наук, доцент

  
\_\_\_\_\_ / Саломатова Е.С./  
подп. ФИО