

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«Пермский национальный исследовательский политехнический
университет»**

**Заключение диссертационного совета Д ПНИПУ.05.13
по диссертации Душиной Алены Юрьевны на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Диссертация «Послойная плазменная наплавка сталей аустенитного класса типа 308LSi для аддитивного производства» по специальности 2.5.8. Сварка, родственные процессы и технологии принята к защите 31 января 2023 года (протокол заседания № 1) диссертационным советом Д ПНИПУ.05.13, созданным по приказу ректора Пермского национального исследовательского политехнического университета от 06 апреля 2022 г. № 33-О в рамках реализации предоставленных ПНИПУ прав, предусмотренных абзацами вторым - четвертым пункта 3.1 статьи 4 Федерального закона от 23 августа 1996 г. N 127-ФЗ «О науке и государственной научно-технической политике» на основании распоряжения Правительства Российской Федерации от 23 августа 2017 г. N 1792-р.

Диссертация выполнена на кафедре «Сварочное производство, метрология и технология материалов» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор технических наук, доцент Ольшанская Татьяна Васильевна, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, кафедра «Сварочное производство, метрология и технология материалов», профессор.

Официальные оппоненты:

Шевченко Олег Игоревич, доктор технических наук (05.02.01 Материаловедение в машиностроении), доцент, Нижнетагильский технологический институт (филиал) ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, кафедра металлургических технологий, заведующий;

Слива Андрей Петрович, кандидат технических наук (05.02.10 Сварка, родственные процессы и технологии), ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, кафедра Технологии металлов, доцент.

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет им Н.Э. Баумана» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, г. Москва (отзыв ведущей организации утвержден Дроговозом Павлом Анатольевичем, доктором экономических наук, профессором, проректором по науке и цифровому развитию, заслушан на заседании кафедры «Сварка, диагностика и специальное роботостроение» и подписан Коберником Николаем Владимировичем, доктором технических наук, заведующим кафедрой и Коноваловым Алексеем Викторовичем, доктором технических наук, доцентом, профессором кафедры).

По теме диссертации соискателем 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. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем научных трудах. 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 / T. 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.

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 аргодуговой 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.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований

установлено влияние термического цикла послойной наплавки, в частности скорости охлаждения и градиента температур, на механизм кристаллизации и образование фазового состава аустенитной стали типа 308LSi;

выявлены закономерности влияния модуляции тока дуги при послойной плазменной наплавке на процессы кристаллизации и формирование структуры сталей аустенитного класса;

доказано влияние холодной пластической деформации на устранение транскристаллизации применительно к послойной плазменной наплавке плавящимся электродом аустенитной стали.

Теоретическая значимость исследования обоснована следующим:

установлено пороговое значение градиента температур по фронту кристаллизации (более $550^{\circ}\text{C}/\text{мм}$) для послойной плазменной наплавки сталей аустенитного класса, при котором наплавляемый металл кристаллизуется по феррито-аустенитному механизму. При уменьшении градиента кристаллизация идет по 2 механизмам: феррито-аустенитному и аустенито-ферритному. При кристаллизации по аустенито-ферритному механизму с объемной долей более 10 % возможно выделение мелкодисперсных карбидов в междендритном пространстве (эффект самостарения);

установлено, что к уменьшению степени транскристаллитного роста зерен и снижению анизотропии механических свойств при послойной плазменной наплавке стали 308LSi приводят особенности термического цикла плазменного нагрева, применение модуляции тока дуги и послойной холодной пластической деформации;

показано повышение коррозионной стойкости сталей аустенитного класса, получаемых методами послойной плазменной наплавки;

установлено, что коррозионная стойкость зависит от механизма кристаллизации и объемной доли металла, кристаллизующегося по аустенито-ферритному механизму: чем меньше объемная доля, тем выше коррозионная стойкость.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что

разработаны и применены (для изготовления 3-х опытных заготовок детали проточной части перспективного авиационного двигателя из хромоникелевой стали на АО «Пермский завод «Машиностроитель») технологические рекомендации, обеспечивающие изготовление изделий в соответствии с установленными требованиями;

показано повышение эксплуатационных свойств сталей аустенитного класса при послойной плазменной наплавке посредством модуляции тока, а также за счет холодной пластической деформации при плазменной наплавке плавящимся электродом;

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

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что для экспериментальных работ использованы современные методы исследования, высокоточное оборудование и программное обеспечение с широкими возможностями анализа данных, проведен большой объем экспериментальных исследований,

полученные результаты не противоречат имеющимся данным других исследователей и известным теоретическим представлениям.

Личный вклад соискателя состоит в анализе литературных данных об особенностях кристаллизации сталей аустенитного класса и влиянии скорости охлаждения на кристаллизацию, проведении исследований экспериментальных образцов методом оптической микроскопии с применением программных комплексов ВидеоТест Размер и ВидеоТест Металл,

выполнении измерений микротвердости наплавленных образцов, обработке результатов и построении зависимостей, обработке, анализе и интерпретации результатов исследований, проведенных методом растровой электронной микроскопии и рентгенофазового анализа.

Диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, и Порядком присуждения ученых степеней в ПНИПУ, утвержденным приказом ректора ПНИПУ от 09 декабря 2021 г. № 4334-В: в ней содержатся теоретические и технологические

разработки в области кристаллизации и формирования структуры сталей аустенитного класса при послойной плазменной наплавке.

На заседании «19» апреля 2023 г. диссертационный совет Д ПНИПУ.05.13 принял решение присудить Душиной Алене Юрьевне ученую степень кандидата технических наук (протокол заседания № 3).

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 14 человек, из них 8 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 15 человек, входящих в состав совета, проголосовал: за присуждение ученой степени – 14, против присуждения ученой степени – 0.

Председатель
диссертационного совета Д ПНИПУ.05.13
д-р техн. наук, проф.



Ю.Д. Щицын

Ученый секретарь
диссертационного совета Д ПНИПУ.05.13
канд. техн. наук, доц.



Е.М. Федосеева

19 апреля 2023 года