

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию

Чинахова Дмитрия Анатольевича

«Развитие теоретических и технологических основ динамического воздействия струи активного защитного газа на процессы в зоне сварки плавящимся электродом», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы

Диссертационная работа Чинахова Д.А. посвящена исследованию проблемы повышения качества электродуговой сварки плавящимся электродом путем динамического воздействия активного защитного газа на процессы тепломассопереноса, формирования структуры и свойств сварного соединения.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложений. Содержание изложено на 224 страницах основного текста, включая 156 рисунков, 29 таблиц и 230 наименований библиографических ссылок. По структуре и содержанию диссертации замечаний нет.

Во введении дано обоснование актуальности выбранной темы исследования, определены цель исследований и задачи, решение которых необходимо для ее достижения, сформулирована научная новизна и ценность работы, показана практическая значимость и связь с государственными программами и НИР, описаны методы исследования, сформулированы положения, выносимые на защиту, представлена структура диссертации.

В первой главе приведен литературный обзор известных способов совершенствования процесса сварки плавящимся электродом в среде защитных газов и управления свойствами сварных соединений. Дана условная классификация известных подходов к решению проблемы повышения эксплуатационной надежности и управления свойствами сварных конструкций.

Во второй главе определено взаимодействие струи активного защитного газа (CO_2) с каплей электродного металла, описана методика расчета газодинамического воздействия струи защитного газа на каплю электродного металла при механизированной сварке плавящимся электродом. Предложена методика прогнозирования содержания марганца в металле шва при сварке плавящимся электродом в среде CO_2 в зависимости от скорости истечения защитного газа и содержания марганца в электродной проволоке и основном металле.

В третьей главе рассмотрено взаимодействие струи активного защитного газа (CO_2) с поверхностью сварочной ванны, проведена оценка газодинамического влияния струи защитного газа на ее поверхность. Предложена модель газодинамического воздействия струи защитного газа на гидродинамические процессы в сварочной ванне при сварке плавящимся электродом с двухструйной газовой защитой в среде CO_2 . Описано влияние

струи защитного газа на параметры сварочной ванны и морфологию сварного шва.

Четвертая глава посвящена изучению газодинамического влияния струи защитного газа на распределение температуры в изделии при сварке плавящимся электродом в активном защитном газе. Описана методика расчета распределения температуры в пластине при автоматической сварке плавлением в среде CO_2 за один проход при двухструйном истечении защитного газа.

В пятой главе приведены результаты экспериментальных исследований и закономерности изменения химического состава, структуры и свойств металла шва и зоны термического влияния сварных соединений при варьировании технологических приемов и параметров их получения, состава и скорости истечения защитного газа как одного из основных способов управления характеристиками теплопереноса и физическими условиями существования дугового разряда. Показана корреляционная взаимосвязь эксплуатационных свойств сварных соединений и химического состава металла шва с технологическими параметрами режима сварки плавящимся электродом с двухструйной газовой защитой.

В заключении приведены основные результаты и выводы диссертационной работы.

К основным новым научным результатам работы можно отнести следующие:

1. Разработана методика расчета силы газодинамического воздействия струи активного защитного газа на каплю электродного металла при механизированной сварке плавящимся электродом. Установлено, что при двухструйной газовой защите, по сравнению с одноструйной, на выходе из сопла скорость истечения газа в 3,5 раза больше, а сила действия защитного газа на каплю больше в 12 раз (в заданных условиях). Применение двухструйной газовой защиты приводит к увеличению силы действия струи активного защитного газа на каплю электродного металла, которая способствует увеличению частоты и стабильности переноса капель. Частота переноса капель при двухструйной защите по сравнению с традиционной возрастает в среднем в 1,6 раза, при этом наблюдается уменьшение размера капель в среднем с 2,4 до 2 мм, что способствует уменьшению перегрева капли и изделия в целом.

2. Предложена методика прогнозирования содержания марганца в капле электродного металла и металле шва при сварке плавящимся электродом в среде CO_2 в зависимости от скорости истечения защитного газа, содержания марганца в электродной проволоке и основном металле. Установлена убывающая линейная зависимость содержания марганца в металле шва от скорости истечения защитного газа. Разработанная методика позволяет выполнить расчет содержания марганца в металле шва при сварке плавящимся электродом в среде CO_2 конструкционных сталей в целевую разделку с погрешностью не более 10 %.

3. Экспериментально и теоретически доказано, что скорость истечения активного защитного газа оказывает существенное влияние на газо- и гидродинамику процессов в зоне дугового разряда и сварочной ванне при сварке плавящимся электродом. Характер движения металла в сварочной ванне при двухструйной газовой защите значительно отличается от движения металла при одноструйной защите, уменьшается амплитуда движения расплавленного металла в сварочной ванне от хвоста ванны к дуге и обратно, увеличивается частота его возвратно-поступательного движения. Это приводит к более интенсивному перемешиванию металла в сварочной ванне, изменяется химический состав, геометрия и механические свойства сварного шва. Предложена модель газодинамического воздействия струи защитного газа на динамику жидкого металла сварочной ванны при сварке плавящимся электродом с двухструйной газовой защитой в среде CO_2 . Описана физическая природа взаимодействия струи газа с поверхностью сварочной ванны и причины изменения глубины проплавления.

4. Разработана методика обработки экспериментальных данных распределения температурных полей, полученных с помощью тепловизионной аппаратуры под углом к поверхности изделия, отличной от нормали. Установлено, что термические циклы металла шва и околошовной зоны сварных соединений неодинаковы, в диапазоне около $770...790\text{ }^\circ\text{C}$ происходит выравнивание температур и до этого более горячий металл шва становится менее горячим по сравнению с металлом околошовной зоной при любом способе газовой защиты. Скорость температурного насыщения в свариваемых пластинах при двухструйной газовой защите немного выше, и выравнивание температуры между металлом шва и околошовной зоной происходит в среднем на 1,4 секунды раньше, чем при традиционной одноструйной защите. Нарастание температуры перед источником нагрева при традиционной одноструйной газовой защите происходит быстрее. На основе анализа результатов экспериментальных и теоретических исследований термических циклов при сварке плавлением в CO_2 разработана уточненная методика расчета распространения температурных полей на поверхности изделия при автоматической сварке плавящимся электродом пластин за один проход в условиях двухструйной газовой защиты, которая позволяет определить термический цикл точки и скорость охлаждения на поверхности свариваемых пластин с погрешностью не более 10 %.

5. Теоретически и экспериментально установлено, что управление параметрами струи защитного газа при сварке плавящимся электродом является дополнительным инструментарием управления стабильностью тепломассопереноса и характера протекания металлургических процессов в зоне дугового разряда, обеспечивающим стабильные эксплуатационные свойства сварных соединений. Показано, что газодинамическое воздействие оказывает существенное влияние на формообразование и геометрию сварного шва при сварке плавящимся электродом в двухструйной газовой защите. С увеличением газодинамического воздействия (расход и скорость истечения газа) на поверхность сварочной ванны и процессы в зоне сварки

происходит увеличение ширины шва, уменьшение глубины проплавления и незначительное изменение усиления шва. Газодинамическое управление формообразованием и геометрией сварного шва имеет большое прикладное значение и дает возможность повысить эксплуатационную надежность сварной конструкции без дополнительных затрат. Практическое применение созданного инструментария обеспечивает принципиально новые возможности формирования сварных соединений.

6. Экспериментально доказано положительное влияние параметров двухструйной газовой защиты при сварке плавящимся электродом на химический состав, микроструктуру и свойства сварных соединений из сталей, склонных к закалке. Установлено, что разработанный способ сварки плавящимся электродом многослойных соединений из легированных сталей с щелевой разделкой в условиях двухструйной газовой защиты стационарной дугой обеспечивает уменьшение химической, прочностной и структурной неоднородности в соединениях, надежное стабильное качество и требуемые механические свойства сварных соединений, способствует измельчению структуры металла шва и формирует плавный переход от наплавленного металла к основному, что увеличивает эксплуатационную надежность и равнопрочность сварных соединений. Разработаны регрессионные зависимости эксплуатационных свойств сварных соединений и химического состава металла шва от технологических параметров режима сварки плавящимся электродом с двухструйной газовой защитой. Относительная погрешность вычислений не превышает 10 %.

7. На основе результатов проведенных исследований сформулированы общие зависимости содержания марганца и кремния в металле шва от управляемых параметров режима сварки плавящимся электродом в активном газе. Разработаны рациональные технологические рекомендации для сварки легированных сталей с щелевой разделкой кромок, обеспечивающие надежное сплавление кромок с наименьшим тепловложением.

Значимость работы для науки и практики заключается в развитии теории влияния динамики истечения активного защитного газа на газо- и гидродинамику процессов в зоне дугового разряда и сварочной ванне при сварке плавящимся электродом. Результаты выполненных комплексных теоретических и экспериментальных исследований легли в основу разработки новых технологических способов сварки плавящимся электродом в условиях струйной газовой защиты. Установлено доминирующее влияние параметров газовой защиты на стабильность и кинетику формирования неразъемных соединений из сталей, склонных к закалке, при сварке плавящимся электродом с двухструйной газовой защитой и их эксплуатационные свойства. Предложена методика расчета силы газодинамического воздействия струи защитного газа на каплю электродного металла при механизированной сварке плавящимся электродом. Разработаны методические рекомендации по выбору способа газовой защиты и режимов сварки, позволяющие спрогнозировать количество марганца в металле сварного шва как одного из основных легирующих компонентов,

переходящих из электродной проволоки в металл шва. Предложена методика прогнозирования содержания марганца в капле электродного металла и металле шва при сварке плавящимся электродом в зависимости от скорости истечения защитного газа CO_2 и содержания марганца в электродной проволоке. Экспериментально и теоретически доказано, что скорость истечения защитного газа оказывает существенное влияние на стабильность переноса капель электродного металла, газо- и гидродинамику процессов в зоне дугового разряда и сварочной ванне при сварке плавящимся электродом с двухструйной газовой защитой. Разработана методика расчета распределения тепла при автоматической сварке пластин за один проход на основе анализа результатов экспериментальных и теоретических исследований термических циклов при сварке плавлением в CO_2 . Экспериментально выявлено положительное воздействие параметров двухструйной газовой защиты при сварке плавящимся электродом на химсостав, микроструктуру и свойства сварных соединений из сталей, склонных к закалке. Доказана возможность газодинамического управления процессами в зоне сварки плавящимся электродом и свойствами сварных соединений. Установлена корреляционная взаимосвязь эксплуатационных свойств сварных соединений и химического состава металла шва с технологическими параметрами режима сварки плавящимся электродом с двухструйной газовой защитой.

Результаты исследований, разработанный способ сварки и технологические рекомендации его применения при производстве сварных металлоконструкций из сталей, склонных к закалке, использованы на ОАО «Сибметаллургомонтаж» (г. Юрга), ОАО «Сургутнефтегаз» (г. Сургут). Результаты исследований успешно используются в учебном процессе и научно-исследовательской работе студентов специальности «Оборудование и технология сварочного производства» в Юргинском технологическом институте Национального исследовательского Томского политехнического университета в течение нескольких лет.

Достоверность основных положений, выносимых на защиту, результатов и выводов работы подтверждается представительным объемом экспериментальных данных, высокой степенью воспроизводимости результатов экспериментов, использованием статистических методов обработки экспериментальных данных, а также эффективностью предложенных технических решений, подтвержденной результатами лабораторных испытаний и внедрением в производство.

Автореферат диссертации соответствует ее содержанию, отражает актуальность работы, ее цель и задачи, научную новизну, практическую значимость, обоснованность и достоверность научных положений, результатов и выводов.

Результаты научных исследований, представленных в диссертации опубликованы в 175 печатных работах, из них 22 в рецензируемых научных журналах и изданиях, определенных Высшей аттестационной комиссией, 19 в журналах, индексируемых базой данных Scopus, 3 монографии, 1 патент на

изобретение, 4 свидетельства об официальной регистрации программ для ЭВМ, 124 статьи в сборниках и трудах российских, международных и зарубежных конференций.

Замечания по работе:

1. Нет ясного описания механизма, обеспечивающего повышение стабильности процесса сварки в условиях двухструйной газовой защиты.
2. Как осуществляется управление скоростью истечения защитного газа из сварочного сопла?
3. На стр. 82 диссертации указано, что применение двухструйной газовой защиты «... приводит к более интенсивному перемешиванию металла в сварочной ванне ...», однако из текста не ясно как это сказывается на формировании свойств сварного соединения.

Сделанные замечания не ставят под сомнение общую положительную оценку работы и не опровергают ее основные результаты.

Диссертация Чинахова Дмитрия Анатольевича «Развитие теоретических и технологических основ динамического воздействия струи активного защитного газа на процессы в зоне сварки плавящимся электродом» представляет собой законченную научно-квалификационную работу в которой изложены новые научно обоснованные технические решения, позволяющие с помощью усиления динамического воздействия активного защитного газа на кинетику плавления и переноса электродного металла в сварочную ванну обеспечивать стабильность тепломассопереноса, структуру и свойства неразъемных соединений, что соответствует п. II.9 «Положения о присуждения ученых степеней».

По своим целям, задачам, содержанию, методам исследования и научной новизне диссертационная работа соответствует паспорту специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы п.12. «Струйные течения. Кавитация в капельных жидкостях», п.15 «Тепломассоперенос в газах и жидкостях» и п.17. «Экспериментальные методы исследования динамических процессов в жидкостях и газах», а ее автор Чинахов Дмитрий Анатольевич заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук.

Официальный оппонент,
 Главный научный сотрудник лаборатории №11
 термомеханики и прочности новых материалов,
 д.ф.-м.н., профессор,
 Институт теоретической и прикладной
 механики им. С.А. Христиановича СО РАН

Черепанов Анатолий Николаевич

29.01.2021

Служебный адрес:

630090, Новосибирск, ул. Институтская, 4/1, Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН,
Телефон: (383) 330-42-68, Факс: (383) 330-72-68

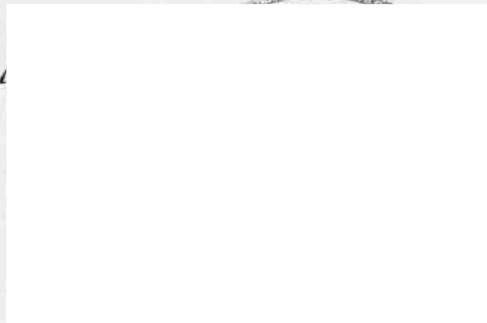
Я, Черепанов Анатолий Николаевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.



Черепанов Анатолий Николаевич

Подпись Черепанова Анатолия Николаевича заверяю.

Ученый секретарь



о.в.е.

29.01.2021

Председателю
диссертационного совета
Д 003035.02
академику В.М. Фомину

ЛИЧНОЕ СОГЛАСИЕ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Я, **Черепанов Анатолий Николаевич**, даю свое согласие выступить в качестве официального оппонента по диссертации **Чинахова Дмитрия Анатольевича** на тему: "Развитие теоретических и технологических основ динамического воздействия струи активного защитного газа на процессы в зоне сварки плавящимся электродом" на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы

О себе сообщаю:

Ученая степень, наименование отрасли науки, д.ф.-м.н., физика.

Научная специальность, по которым защищена диссертация: 01.04.14 – теплофизика и молекулярная физика.

Ученое звание: профессор, теплофизика и теоретическая теплотехника

Тел: 8(952) 902 87 44,

E-mail: ancher@itam.nsc.ru

Должность: главный научный сотрудник

Подразделение организации: лаборатория термомеханики и прочности новых материалов

Полное наименование организации, являющейся основным местом работы: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН.

Адрес служебный: 630090, г. Новосибирск, ул. Институтская, дом, 4/1,

Тел: +7 (383) 330-42-68, E-mail: admin@itam.nsc.ru, Web-сайт организации: <http://itam.nsc.ru/>.

По теме рассматриваемой диссертации имею 36 научных работ, в том числе 8 в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет (список прилагается).

Не являюсь членом экспертного совета ВАК

Согласен на включение моих персональных данных в ~~открытый доступ~~ реферативные базы соискателя и их дальнейшую обработку.

главный научный сотрудник лаборатории
№11 термомеханики и прочности новых
материалов, д.ф.-м.н., профессор,
Институт теоретической и прикладной
механики им. С.А. Христиановича СО РАН

26.10.2020 г.

Список публикаций **Черепанова Анатолия Николаевича оппонента**
по теме диссертации Чинахова Дмитрия Анатольевича на тему: "Развитие теоретических и технологических основ динамического воздействия струи активного защитного газа на процессы в зоне сварки плавящимся электродом"
в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет

1. А.М. Оришич, А.Н. Черепанов, В.П., Шапеев, Н.Б. Пугачева. Лазерная сварка металлов с применением нанопорошковых модификаторов. Учебное пособие. Новосибирск: РИЦ НГУ, 2016. 267 с.
2. V.I. Isaeva, A.N. Cherepanov, V.P. Shapeev. Numerical study of Heat Modes of laser welding of dissimilar metals with an intermediate insert// International Journal of Heat and Mass Transfer. 99 (2016), pp. 711–720.
3. A.N. Cherepanov, A.M. Orishich1, A.G. Malikov, V.E. Ovcharenko. Modification of structure and strength properties of permanent joints under laser beam welding with application of nanopowder modifiers// VII International Scientific Practical Conference "Innovative Technologies in Engineering" IOP Publishing IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 142 (2016) 012092 doi:10.1088/1757-899X/142/1/012092
4. V. I. Isaev, A. N. Cherepanov, and V. P. Shapeev. Modeling of Laser Welding of Steel and Titanium Plates with a Composite Insert // AIP Conference Proceedings 1893, 030108 (2017); <https://doi.org/10.1063/1.5007566>
5. N. B. Pugacheva, A. N. Cherepanov, A. M. Orishich, A. G. Malikov, V. O. Drozdov, V. I. Mali, and E. I. Senaeva. Laser welding of titanium and stainless steel using an intermediate composite insert AIP Conference Proceedings 1893, 030107 (2017); <https://doi.org/10.1063/1.5007565>.
6. A. N. Cherepanov, V. I. Mali, Yu. N. Maliutina, A. M. Orishich, A. G. Malikov, V. O. Drozdov. Laser welding of stainless steel to titanium using explosively welded composite inserts// The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. June 2017, Volume 90, Issue 9, pp 3037–3043. Download PDF (2878KB)
7. Cherepanov A.N., Mali V.I., Drozdov V.O., Orishich A.M., Malikov A.G. To the technology of laser welding of aluminum with titanium // Material Series Forum. ISSN: 1662-9752. Vol. 938, pp.70-74 (2018). DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.938.70
8. V.P. Shapeev, A.N. Cherepanov, V.I. Isaev. Modeling of Laser Welding of Plates made of dissimilar Metals// IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 681 (2019) doi:10.1088/1757-899X/681/1/012044 IOP Publishing

главный научный сотрудник лаборатории
№11 термомеханики и прочности новых
материалов, д.ф.-м.н., профессор,
Институт теоретической и прикладной
механики им. С.А. Христиановича СО РАН

26.10.2020 г.

