

ОТЗЫВ

ведущей организации, Национального Исследовательского Технологического Университета «МИСиС», на диссертационную работу 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»

В настоящее время сварка применяется для получения неразъемных соединений широчайшей гаммы металлических, неметаллических и композиционных конструкционных материалов в условиях земной атмосферы, Мирового океана и космоса. Несмотря на непрерывно увеличивающееся применение в конструкциях и изделиях легких сплавов, полимерных материалов и композитов, основным конструкционным материалом остается сталь. Мировой рынок сварочной техники и услуг возрастает пропорционально росту мирового потребления стали.

Сварочные процессы протекают по сложным физико-химическим законам при высокой температуре. Совокупность различных факторов и явлений определяет качество сварных соединений. Особенно сильно это влияние сказывается при сварке сталей, склонных к закалке. Холодные трещины, часто образующиеся в сварных соединениях, являются причиной снижения эксплуатационных свойств конструкции, приводя к преждевременному их разрушению. Для повышения эксплуатационной надежности сварной конструкции разрабатывают и применяют разное оборудование и технологии управления свойствами сварных соединений. Уменьшить уровень высокотемпературной химической микронеоднородности (ВХМН), структурной и механической неоднородности в зоне сплавления и в металле сварного шва можно за счет интенсивного перемешивания электродного металла с основным.

Сократить время пребывания металла капли и сварочной ванны в жидкой фазе и одновременно увеличить скорость его перемешивания можно при помощи импульсно-динамических воздействий, например, управления переносом электродного металла в сварочную ванну или управления динамическим воздействием газо-защитной средой и др. Ряд работ указывают на влияние динамики струи защитного газа на процессы в зоне

дугового разряда и свойства сварных соединений. А.Г. Потапьевский в своей работе пишет, что на каплю электродного металла при определенных условиях кроме основных сил существенное влияние оказывает сила действия струи защитного газа. Защитный газ при определенных условиях может быть инструментом управления процессами в зоне сварки и свойствами сварных соединений.

Процесс сварки плавящимся электродом в CO_2 сопровождается экстремальным изменением материала в зоне сварки и неизбежными потерями (выгорание и окисление элементов, разбрызгивание). Снижение стабильности процесса сварки повышает уровень случайных потерь материала и химических элементов при переходе с электрода в шов, что снижает предсказуемость, повторяемость и стабильность химсостава и свойств сварных соединений. Поэтому одной из основных задач управления при сварке плавящимся электродом в защитных газах является обеспечение стабильности процесса сварки и получаемых свойств неразъемных соединений.

В связи с этим, диссертационное исследование Чинахова Д.А., целью которого явилось совершенствование процесса сварки плавящимся электродом в среде защитных газов, управление динамическим воздействием струи активного защитного газа на процессы в зоне сварки является **актуальным** и перспективным направлением совершенствования технологии сварки плавящимся электродом в защитных газах и позволяет повысить эффективность и стабильность получаемых свойств сварных соединений.

Для этой цели соискателем был выполнен большой объем экспериментальных работ, в исследованиях был задействован комплекс различных экспериментальных методов, таких как осциллографирование современным электронным осциллографом с использованием программного обеспечения: «AWR524 регистратор»; OWON_Oscilloscope_2.0.8.26; тепловизионная съемка ThermoCAM P65HS. Обработка результатов проводилась с использованием пакетов прикладных компьютерных программ приложения ThermoCAM Researcher и системы MATLAB, MATCAD, Microsoft Excel. Для металлографического исследования структуры применяли: оптические микроскопы Olympus GX-71, Neophot-21 с фотокамерой Genius VileCam. Химический анализ и механические испытания сварных соединений проводились по стандартным методикам на сертифицированном оборудовании. Исследования проводились с применением метода полного факторного эксперимента.

На основе выполненных экспериментов и анализа их результатов, соискателем получен ряд **новых научных результатов**, среди которых наибольший интерес представляют следующие:

1. Получены новые знания о степени влияния динамического воздействия струи активного защитного газа на процессы сварки плавящимся электродом в среде защитных газов. Установлены основные закономерности влияния параметров двухструйной газовой защиты на повышение эксплуатационных свойств, стабильность и кинетику формирования неразъемных соединений. Определены пути совершенствования технологии сварки плавящимся электродом в среде защитных газов.

2. Предложена и апробирована оригинальная методика количественной оценки динамического воздействия струи активного защитного газа на каплю электродного металла при механизированной сварке плавящимся электродом. Теоретически и экспериментально доказано, что в условиях двухструйной газовой защиты сила динамического воздействия струи активного защитного газа соизмерима с основными силами, действующими на каплю электродного металла.

3. Разработан и апробирован метод прогнозирования содержания марганца как основного легирующего компонента для обеспечения отсутствия дефектов в металле шва при сварке плавящимся электродом в среде CO_2 . Установлена убывающая линейная зависимость содержания марганца в металле шва от скорости истечения защитного газа.

4. Разработана базовая физическая модель динамического воздействия струи защитного газа на гидродинамические процессы в сварочной ванне в условиях двухструйной газовой защиты. Установлено, что скорость истечения защитного газа является дополнительным параметром управления движением металла в сварочной ванне и геометрией сварного шва.

5. Разработана методика количественной оценки распределения температурных полей на поверхности изделия при автоматической сварке плавящимся электродом пластин в условиях двухструйной газовой защиты, позволяющая определить термический цикл и скорость охлаждения на поверхности свариваемых пластин с погрешностью не более 10 %.

6. Разработаны теоретические и практические основы управления стабильностью тепломассопереноса при сварке плавящимся электродом с двухструйной газовой защитой, параметры которой являются дополнительным инструментальным средством построения структуры и свойств сварных соединений. Установлено, что скорость истечения активного защитного газа оказывает значимое влияние на химический состав, структуру и свойства металла сварных швов.

Основные положения и выводы диссертационной работы являются **обоснованными и достоверными**, что обеспечивается: применением современных технологических способов получения исследованных образцов с воспроизводимыми свойствами; применением апробированных и взаимодополняющих методов исследования образцов;

непротиворечивостью результатов, полученных на большом количестве предварительно аттестованных образцов; удовлетворительным количественным и качественным описанием установленных экспериментальных закономерностей и зависимостей в рамках используемых физических механизмов и моделей.

Диссертационная работа 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. Все главы диссертации взаимосвязаны, представленный материал логично изложен и структурирован. Автореферат диссертации **полностью отражает** содержание и структуру диссертации, а также полученные в работе результаты.

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 уточненная 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 доказано положительное влияние 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.

Основное содержание диссертации отражено 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. Результаты исследований, разработанный способ сварки и технологические рекомендации его применения при производстве сварных металлоконструкций из сталей, склонных к закалке, использованы на ОАО «Сибметаллургмонтаж» (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.

Однако, работа не лишена недостатков, по которым можно сделать следующие **замечания:**

1. Из доклада неясно, как проводилось моделирование различных свойств (скорость, давление, температура) и какие параметры при этом рассматривались. В докладе следует упомянуть о методе моделирования, исходных данных и ограничениях принятой модели.

2. В докладе не предложено объяснение более высокой скорости охлаждения оси шва относительно околшовной зоны. Не понятно, какими физическими процессами и структурными особенностями может быть связан данный эффект.

3. Нет должной статистической проработки экспериментальной части, обоснования выбранного количества измерений. В частности, не понятно, сколько марок сталей исследовано и какое количество экспериментов по определению химического состава проведено для построения зависимости концентрации марганца в металле шва (автореферат, рисунок 9). На данном рисунке приведена линейная зависимость, которая построена только по 6 точкам. Более доказательно отобразить на графике все результаты определения химического состава либо погрешности измерений. Не понятно, почему в таблице 2 автореферата содержание марганца у разных образцов экспериментально определено с различной погрешностью.

4. В автореферате не приведён перечень методик и приборов для проведения исследований материалов (страница 6, 1 абзац). В частности, не понятно, каким методом определялся элементный состав.

5. В автореферате по 5 главе не приведено данных, подтверждающих сделанные выводы. При этом в докладе приведено много экспериментальных данных по механическим характеристикам, построены графические зависимости.

Приведенные замечания не снижают ценности диссертационной работы. Она представляет собой законченное научное исследование и отвечает всем требованиям ВАК, предъявляемым к докторским диссертациям.

Заключение. В целом диссертация Чинахова Д.А. является законченной научно-квалификационной работой на востребованную для науки и практики тему. По своему объему, научной новизне и достоверности результатов, обоснованности выводов, диссертация «Развитие теоретических и технологических основ динамического воздействия струи активного защитного газа на процессы в зоне сварки плавящимся электродом» отвечает всем требованиям ВАК РФ, паспорту специальности 01.02.05 – «механика жидкости, газа и плазмы», а ее автор Чинахов Дмитрий Анатольевич заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук.

Доклад по диссертационной работе Чинахова Д.А. был заслушан и обсужден на объединенном заседании кафедры функциональных наносистем и высокотемпературных материалов и лаборатории «Катализ и переработка углеводов» НИТУ «МИСиС» 18 января 2021 г. (протокол № 9 от 18.01.2021)

Доцент кафедры функциональных наносистем
и высокотемпературных материалов
НИТУ «МИСиС»
д.т.н.

Л. Дзидзигури

Заведующей кафедрой функциональных наносистем
и высокотемпературных материалов
НИТУ «МИСиС»
к.т.н., доцент

Д.В. Кузнецов

Адрес и телефон: 119049, Москва, Ленинский пр-кт, 4, НИТУ «МИСиС», кафедра функциональных наносистем и высокотемпературных материалов; телефон: 7 499 236-84-18; электронная почта: dk@misis.ru.

Сведения о ведущей организации по диссертации

Чинахова Дмитрия Анатольевича

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

Полное наименование организации в соответствии с уставом:	Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»
Сокращенное наименование организации в соответствии с уставом:	НИТУ «МИСиС»
Ведомственная принадлежность организации:	Министерство науки и высшего образования
Полное наименование структурного подразделения, составляющего отзыв:	Кафедра функциональных наносистем и высокотемпературных материалов
	119991, Москва, Ленинский пр-т, 4, +7 495 955-00-32, kancela@misis.ru https://misis.ru/
РУКОВОДИТЕЛЬ ОРГАНИЗАЦИИ, ученая степень, ученое звание, фамилия имя отчество	Д.э.н., профессор, Алевтина Анатольевна Черникова Ректор НИТУ «МИСИС»
ФИО (человека в ВЕДУЩЕЙ организации, который ознакомлен с вашей диссертацией) ученая степень, ученое звание, фамилия, имя, отчество, должность	д.т.н., доцент, Дзидзигури Элла Леонтьевна Доцент кафедры функциональных наносистем и высокотемпературных материалов НИТУ «МИСиС» E-mail: avrore@gmail.com Телефон: +7 495-638-45-16

Список основных публикаций работников структурного подразделения, составляющего отзыв, в рецензируемых научных изданиях за последние пять лет по теме диссертации (не более 15 публикаций).

№	Авторы	Название	Издательство, журнал, год, №, страницы	Вид, год
1	Filonov, M.R., Sanin, V.V., Dzidziguri, E.L., Anikin, Y.A., Kostitsina, E.V.	Research of the Microstructure of Fe ₃₀ Cu ₇₀ Alloy Obtained by Different Technologies	Steel in Translation Volume 49, Issue 10, 1 October 2019, Pages 720-725	Статья 2019

2	Nalivaiko, A.Y., Ozherelkov, D.Y., Arnautov, A.N., Zmanovsky, S.V., Osipenkova, A.A., Gromov, A.A.	Selective laser melting of aluminum-alumina powder composites obtained by hydrothermal oxidation method	Applied Physics A: Materials Science and Processing Volume 126, Issue 11, 1 November 2020, Номер статьи 871	Статья 2020
3	Karunakaran, G., Van Minh, N., Konyukhov, Y., Kolesnikov, E., Venkatesh, M., Kumar, G.S., Gusev, A., Kuznetsov, D.	Effect of Si, B, Al ₂ O ₃ and ZrO ₂ nano-modifiers on the structural and mechanical properties of Fe + 0.5% C alloy	Archives of Civil and Mechanical Engineering Volume 17, Issue 3, 1 May 2017, Pages 669-676	Статья 2017
4	Nguyen, V.M., Karunakaran, G., Nguyen, T.H., Kolesnikov, E.A., Alymov, M.I., Levina, V.V., Konyukhov, Y.V.	Enhancement of structural and mechanical properties of Fe + 0.5 % C steel powder alloy via incorporation of Ni and Co nanoparticles	Letters on Materials Volume 10, Issue 2, 2020, Pages 174-178	Статья 2020
5	Eremin, S.A., Anikin, V.N., Kuznetsov, D.V., Leontiev, I.A., Stepanov, Y.D., Dubinin, V.Z., Kolesnikova, A.M., Yashnov, Y.M.	Spheroidization of Iron Powder in Microwave and Hybrid Plasma Torches	Russian Journal of Non-Ferrous Metals Volume 61, Issue 2, 1 March 2020, Pages 199-206	Статья 2020
6	Sanin, V.V., Filonov, M.R., Yukhvid, V.I., Anikin, Y.A., Ikornikov, D.M.	Production of the 70% Cu-30% Fe Alloy by SHS Metallurgy and Electrometallurgy: Comparative Analysis of Microstructures	Russian Journal of Non-Ferrous Metals Volume 61, Issue 1, 1 January 2020, Pages 119-125	Статья 2020
7	Sidorova, E., Karasev, A.V., Kuznetsov, D., Jönsson, P.G.	Modification of non-metallic inclusions in oil- pipeline steels by ca-treatment	Metals Volume 9, Issue 4, April 2019, Номер статьи 391	Статья 2019
8	Komissarov, A.A., Sokolov, P.Y., Tikhonov, S.M., Sidorova, E.P., Mishnev, P.A., Matrosov, M.Y., Kuznetsov, D.V.	Production of Low-Carbon Steel Sheet for Oil-Industry Pipe	Steel in Translation Volume 48, Issue 11, 1 November 2018, Pages 748-753	Статья 2020

9	Kushnerev, I.V., Serov, G.V., Tikhonov, S.M., Kuznetsov, D.V., Aksel'rod, L.M.	Prediction of Nonmetallic Inclusion Composition and Amount During Low-Alloy Pipe Steel Production	Refractories and Industrial Ceramics Volume 58, Issue 6, 1 March 2018, Pages 660-665	Статья 2018
10	Paderin, S.N., Serov, G.V., Komissarov, A.A., Tikhonov, S.M., Kuznetsov, D.V.	Thermodynamic analysis of the reduction of pipe steel	Steel in Translation Volume 47, Issue 1, 1 January 2017, Pages 60-64	Статья 2017
11	Bazhin, P.M., Stolin, A.M., Chizhikov, A.P., Alymov, M.I., Kuznetsov, D.V.	Structure, Properties, and Use of Protective Cermet Coatings Prepared By Electric-Spark Alloying and Electric-Arc Hardfacing	Refractories and Industrial Ceramics Volume 57, Issue 4, 1 November 2016, Pages 401-406	Статья 2016
12	Serov, G.V., Komissarov, A.A., Tikhonov, S.M., Sidorova, E.P., Kushnerev, V., Mishnev, P.A., Kuznetsov, D.V.	Effect of Deoxidation on Low-Alloy Steel Nonmetallic Inclusion Composition	Refractories and Industrial Ceramics Volume 59, Issue 6, 15 March 2019, Pages 573-578	Статья 2019
13	Filonov, M.R., Sanin, V.V., Anikin, Y.A., Kostitsyna, E.V., Vidineev, S.N.	Investigation of Two-Phase State of Fe-Cu Melts during Cooling in a Viscometer	Steel in Translation Volume 49, Issue 11, 1 November 2019, Pages 732-737	Статья 2019
14	Sanin, V.V., Filonov, M.R., Yukhvid, V.I., Anikin, Y.A.	Structural investigation of 70Cu/30Fe based cast alloy obtained by combined use of centrifugal casting-SHS process and forging	MATEC Web of Conferences Volume 129, 7 November 2017, Номер статьи 02020	Статья 2017
15	Sazonov, Y.B., Komissarov, A.A., Ozherelkov, D.Y., Ten, D.V.	Influence of thermomechanical treatment in the range of subcritical temperatures $a_{c1} - (5 \div 10)^\circ\text{C}$ on the properties of 35khgsa structural steel	Chernye Metally Volume 2020, Issue 9, 2020, Pages 20-24	Статья 2020

Проректор по науке и инновациям
НИТУ «МИСиС», д.т.н.

НОВ

19.01.2021