

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Костиной Валентины Сергеевны по теме «Исследование и развитие технологических основ сварки высокоазотистых коррозионностойких Cr-Ni-Mn-Mo аустенитных сталей», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов»

Диссертационная работа Костиной Валентины Сергеевны посвящена решению **актуальной научной проблемы** – развитию физико-химических основ технологии сварки высокопрочных и коррозионностойких аустенитных азотсодержащих сталей с высокой концентрацией азота. Стали такого рода называют конструкционным материалом 21 века ввиду сочетания у них уникального комплекса свойств – высокой прочности и высокой коррозионной стойкости со стабильно аустенитной структурой, высокой износостойкостью. За рубежом стали такого рода широко применяются в промышленности, в РФ их производство, например - в виде горячекатаного листа или отливок, только осваивается. Подтверждение свариваемости и высокого уровня свойств сварных соединений таких сталей, производимых с использованием доступных сварочных присадок и технологий является одним из важнейших положительных факторов, определяющих их дальнейшее распространение в промышленности РФ.

Диссертанткой осуществлен обстоятельный анализ научной литературы, преимущественно зарубежной, по вопросам сварки коррозионно-стойких аустенитных сталей, особенно – азотсодержащих. Ею были сформулированы критерии оценки и выявлены основные проблемы, связанные с получением качественных сварных соединений аустенитных азотсодержащих сталей с высокими свойствами, и основные применяющиеся способы устранения этих проблем (глава 1).

С учетом сделанных на основе обзора литературы заключений, а также на основе выполненных в работе расчетов и экспериментов, для аустенитных сталей двух марок (04X20H6Г11M2АФБ и 05X22АГ15Н8M2Ф) с содержанием азота ~ 0,5% В.С. Костиной были решены задачи по научному обоснованию и выбору способов сварки, выбору экономно легированных присадочных материалов, режимов процесса сварки, позволяющих сформировать сварное соединение требуемого уровня качества и свойств, по установлению корреляции между параметрами сварочного процесса и структурно-фазовыми состояниями сварных соединений и их свойствами. Важным аспектом работы явилось решение задач, связанных с обоснованием возможностей отказа от проведения термообработки сварных соединений; проведением механической тепловой правки сварных соединений.

Анализ материалов диссертации позволяет сделать вывод, что диссертационная работа В.С. Костиной выполнена на высоком научном уровне.

Диссертация состоит из введения, пяти глав и выводов по главам, общих

выводов и списка литературы из 167 наименований, всего – 181 страница.

Во второй главе приведена информация о методах исследования, приведенных в работе. Это принятые в современном металловедении методы для исследований микроструктуры, химического и фазового состава, механических свойств.

В главе 3 рассмотрены вопросы дуговой сварки аустенитных азотсодержащих сталей толщиной 10-45 мм. Это самый объёмный, основной раздел диссертационной работы. Диссертанткой были проведены исследования сварных соединений сталей 04X20H6Г11M2АФБ и 05X22АГ15Н8M2ФЛ, полученных тремя видами дуговой сварки: (полуавтоматической в среде защитного газа, ручной дуговой с использованием сварочного электрода и ручной аргонодуговой сваркой неплавящимся электродом). На сварных образцах проката различной толщины стали первой марки, с более низкой концентрацией никеля и марганца, были опробованы три варианта присадочного материала (два вида сварочной проволоки и плавящийся электрод). Эти вариации присадок содержали небольшую концентрацию азота (0,1-0,15% N); все они содержали хром, никель и молибден в высоких концентрациях. В результате изучения микроструктуры, механических свойств и, особенно, тонкой структуры сварных соединений, был обоснован выбор присадки Св-10X20H18M3АФС с меньшей концентрацией никеля (18, а не 25%). В сварных соединениях с такой присадкой не образуются выделения  $\chi$ -фазы, способные быть источником зарождения микротрещин и нитриды  $\text{Cr}_2\text{N}$ , образующие цепочки субмикронных выделений по границам зерен, что может неблагоприятно влиять на коррозионную стойкость. Было показано, что в больших сечениях проката более благоприятной для сохранения хорошей ударной вязкости шва является X-образная форма разделки кромок.

Эта присадка, также как и иной научный опыт исследований первой стали, была использована во второй части работ по дуговой сварке, описанных в третьей главе, при получении сварных соединений *литейной* аустенитной стали с *более высокой концентрацией марганца* (15%). С учетом этой особенности химического состава, были также опробованы два варианта присадок, содержащих марганец. Кроме того, на материале литейной стали с 15% Mn были проверены два «сценария» – две технологии процесса сварки. Первый – однопроводная сварка с высокой погонной энергией, применяемая на рядовых сталях, второй – более трудоемкий вариант многопроводной сварки, цель которого – избежать появления большой сварочной ванны и перегрева основного металла в зоне термического влияния.

Итогом работ третьей главы явились: выявленные особенности структуры и фазового состава, механического и коррозионного поведения изученных сварных соединений, закономерности распределения азота и изменения микротвердости в разных зонах соединений для горячекатаной и литой азотсодержащей стали, а также выявленные корреляции микротвердости в разных зонах с размером зерна, пределом текучести; выводы по влиянию энергетических параметров сварки на структуру сварных соединений; разработка технологии аргонодуговой сварки для сталей изученного типа, в т.ч. с рекомендованными присадками и режимами сварки.

Исследования В.С. Костиной, описанные в главе 4, показали возможность использования лазерной стыковой бесприсадочной сварки для получения качественных сварных соединений аустенитной стали 05X22AG15H8M2Ф с 0,5% азота, обеспечивающих уровень механических свойств более высокий, чем у традиционных аустенитных сталей, не содержащих азота. Эти исследования были выполнены как на литой, так и на горячекатаной стали. Диссертантка изучила микроструктуру и механические свойства стыковых соединений, распределение основных легирующих элементов, и прежде всего - азота и марганца - в металле шва, сопоставила твердость в разных зонах лазерного сварного соединения с прочностными параметрами испытаний на растяжение. Следует отметить, что ранее исследования сварных соединений сталей с высокой концентрацией азота, полученных стыковой лазерной сваркой, не проводились.

Глава 5 имеет предметом рассмотрения механическую тепловую правку сварных соединений азотосодержащей аустенитной стали марки 04X20H6Г11M2АФБ. В научной литературе, по сути, отсутствуют данные об исследованиях влияния такой обработки на свойства подвергшихся короблению сварных соединений, тем более – для сварных соединений азотосодержащей стали. Для соединений после правки при температурах от 200 до 600°С были изучены механические свойства и твердость, исследованы микроструктура таких сварных соединений и, методом ПЭМ - тонкая структура металла шва около зоны сплавления. Результаты испытаний механических свойств были сопоставлены с известными экспериментальными данными по влиянию температуры на кратковременную прочность при растяжении аустенитной стали 05X22AG15H8M2Ф в деформированном и литом состоянии. Совокупность полученных данных позволила дать объяснение свойствам сварных соединений после различных температур механической тепловой правки и обосновать выбор оптимальной температуры этой технологической операции.

**Научная новизна и значимость** полученных в работе результатов несомненны. Диссертанткой впервые изучены структура и фазовый состав, механические и коррозионные свойства сварных соединений новой марки деформируемой азотосодержащей стали 04X20H6Г11M2АФБ и литой азотосодержащей стали 05X22AG15H8M2ФЛ, полученных различными способами сварки, с применением различных сварочных присадок, выявлены закономерности изменения микротвердости в различных зонах сварных соединений и показана взаимосвязь этого параметра с размером зерна и прочностными характеристиками сварных соединений. Впервые изучены особенности механического поведения и структурно-фазовые состояния сварных соединений таких сталей, полученных лазерной сваркой, соединений, подвергнутых механической тепловой правке. В.С. Костиной разработан подход к выбору присадочного материала для азотосодержащих сталей, опирающийся на расчеты растворимости азота и фазового состава, расчеты эквивалента питтингостойкости и механические свойства наплавов, выполненных из присадочного материала.

Очевидна **практическая значимость** работы. Её основным практическим итогом является разработанная технология сварки азотосодержащих аустенитных сталей; можно также отметить рекомендацию по режиму механической тепловой правки, обеспечивающему высокий уровень механических свойств сварного соединения.

**Достоверность** полученных в работе данных основана на использовании классических подходов металловедения, применении современного исследовательского оборудования, включая сканирующие и просвечивающие микроскопы, большом объеме выполненных экспериментов, использовании для моделирования фазового состава не только расчетной оценки растворимости азота и диаграммы Шеффлера-Делонга, но и метода ThermoCalc; соотнесении полученных результатов с известными литературными данными.

**Основные результаты диссертационной работы опубликованы** в рецензируемых журналах (семь статей), были доложены на многочисленных конференциях.

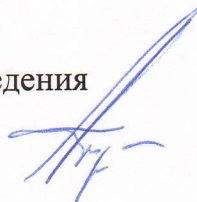
По диссертационной работе можно сделать некоторые замечания.

1. Для сварных соединений литейной азотосодержащей стали не выполнены исследования методом ПЭМ тонкой структуры металла в зонах термического влияния сварного шва и линии сплавления.
2. Хотя в работе речь идет о механической тепловой правке сварных соединений, подвергшихся короблению в результате действия остаточных напряжений, в работе отсутствуют исследования напряженного состояния полученных сварных соединений, например, с использованием рентгеновского метода, метода коэрцитиметрии.
3. Эксперименты по лазерной стыковой бесприсадочной сварке выполнены только на тонких пластинах толщиной до 4 мм. Не ясно, насколько эффективен будет этот метод сварки для сечений азотистой стали большей толщины.
4. Диссертанткой не приведены рекомендации по технологии лазерной сварки азотосодержащих сталей.
5. Хотя диссертанткой выполнено значительное количество исследований микроструктуры с использованием травленных шлифов сталей, на основании которых сделаны утверждения о бездефектности сварных соединений, в том числе - отсутствии в них пор, было бы уместно провести специальные исследования пористости металла сварных соединений и данные ультразвукового дефектоскопического контроля.

Сделанные замечания не снижают общей высокой оценки актуальной, научно значимой диссертационной работы В.С. Костиной. Развитые в работе технологические основы сварки коррозионностойких Cr-Ni-Mn-Mo аустенитных сталей с высокой концентрацией азота позволили получить ценные практические результаты в виде технологических рекомендаций по сварке и температуре тепловой правки таких сталей.

Диссертационная работа В.С. Костиной соответствует критериям, которым должны отвечать диссертации на соискание ученых степеней согласно Положению о присуждении ученых степеней, утвержденному Постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г. Диссертация соответствует паспорту специальности 05.16.01 в части пунктов 2, 3, 4, 6, 8. Её автор – **Костина Валентина Сергеевна** - заслуживает присуждения ей искомой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 - «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Доктор физ.-мат. наук (01.04.07),  
Профессор кафедры физического материаловедения  
НИТУ «МИСиС»



Глезер  
Александр Маркович

Россия, 119049 Москва, Ленинский просп.4,

21/10/2020

НИТУ «МИСиС»

a.glezer@mail.ru

7(916)122-19-74/

«Подпись А.М. Глезера заверяю»

Проректор НИТУ «МИСиС»



М.Р. Филонов