

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Костиной Валентины Сергеевны

«Исследование и развитие технологических основ сварки высокоазотистых коррозионностойких Cr-Ni-Mn-Mo аустенитных сталей», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

В последние десятилетия эффективным вариантом решения задачи создания новых высокопрочных аустенитных коррозионностойких конструкционных сталей явилась частичная замена в них никеля азотом. Новые марки азотосодержащих сталей позволяют создавать конкурентоспособные изделия с высоким комплексом эксплуатационных свойств. Важным условием определения практического применения таких сталей в нефте- и газодобыче, судостроении, машиностроении и др. областях является изучение их свариваемости. С точки зрения специалиста-сварщика процесс сварки сталей с высоким содержанием азота может представлять проблему, например, если при сварке будет происходить выгорание легирующих элементов, вносящих вклад в структуру и свойства стали. Еще одна сложность при сварке таких сталей - дестабилизация аустенита с выделением частиц нитридов (карбонитридов) в зонах, подверженных термическому воздействию цикла сварки. Это может приводить к снижению механической прочности, ударной вязкости металла шва, способствовать процессам коррозии сварного соединения. Диссертационная работа В.С. Костиной с учетом изложенного является актуальной. В этой работе для двух новых марок аустенитных высокопрочных азотосодержащих сталей с концентрацией азота 0,5% были поставлены и успешно решены, с применением традиционных методов металловедения, основные задачи в области сварки. В их числе – научное обоснование и выбор сварочного присадочного материала, в том числе с использованием моделирования фазового состава, способного обеспечить аустенитную структуру металла

шва и высокий уровень механических свойств, выбор режимов сварки вариаций традиционной дуговой сварки и лазерной сварки, изучение структуры и фазового состава полученных сварных соединений, исследование механических свойств и стойкости к воздействию коррозионной среды, исследование свойства сварных соединений, подвергнутых механической тепловой правке.

Диссертация В.С. Костиной состоит из введения, пяти глав, содержащих выводы по главам, общих выводов, списка литературы и двух приложений. Работа изложена на 181 странице, содержит 253 рисунка, 55 таблиц и список литературы из 167 источников.

Во введении обоснована актуальность темы исследований, сформулированы цель и задачи, приведены положения, выносимые на защиту, указаны структура и объем диссертации.

Первая глава диссертации представляет собой литературный обзор, в котором рассмотрены существующие виды и способы сварки азотсодержащих сталей, разобраны основные проблемы, возникающие при сварке, а именно: вопросы ограниченной растворимости азота в металле шва и образование газовых пор; возможные процессы возникновения распада аустенита в зоне термического влияния с выделением нитридных фаз; появление горячих трещин; снижение коррозионной стойкости сварных соединений по сравнению с уровнем стойкости основного металла. Приведен анализ с точки зрения мирового опыта существующих подходов к сварке азотсодержащих сталей: выбор сварочного присадочного материала, режимов сварки, термические и термомеханические способы послесварочной обработки и результаты их использования. Содержание первой главы всесторонне охватывает основные проблемы, решаемые в диссертационной работе, что свидетельствует о высокой квалификации автора в области изученной темы.

Вторая глава включает подробное описание использованных в диссертационной работе материалов и методов исследования. Приведены

критерии выбора сварочных присадочных материалов с учетом термодинамических расчетов растворимости азота, условия получения аустенитной структуры в металле шва при оценке фазовой диаграммы Шеффлера, расчеты стойкости к питтинговой коррозии. Термодинамическое моделирование фазового состава проведено с использованием программы Thermo Calc при нормальном атмосферном давлении в интервале температур от 600 °С до 1200 °С.

В третьей, самой большой главе работы, изложены результаты исследований структуры, химического и фазового состава, механических свойств и коррозионной стойкости сварных соединений, полученных дуговыми способами сварки двух марок высокопрочных аустенитных азотистых сталей: 04X20H6Г11M2АФБ проката толщиной 10-45 мм и 05X22АГ15Н8МФЛ толщиной 22 мм в литом состоянии. На основе изучения структуры и механических свойств показано, что традиционный процесс сварки за один проход сварочной кромки толщиной 22 мм не подходит для сварки азотсодержащей аустенитной стали. Приведены расчеты погонной энергии для использованных дуговых способов и режимов сварки изученных азотсодержащих сталей. Проведенные расчеты позволили установить, что для получения сварных соединений с высоким уровнем механических свойств должно выполняться условие: погонная энергия $Q \leq 2$ кДж/мм. Выявлено влияние режимов сварки и толщины свариваемых кромок всех сварных соединений на размер зоны термического влияния, а также влияние режимов сварки на протяженность зоны перемешивания основного металла с металлом сварочной присадки. Установлена зависимость структуры и свойств от разделки кромок под сварку и определена связь между микротвердостью, размером зерна и прочностными свойствами сварных соединений.

В четвертой главе представлены экспериментальные результаты, описывающие структуру и свойства сварных соединений, полученных лазерной сваркой. В качестве свариваемого материала была использована

сталь 05X22AG15H8MФ(Л) в литом и деформируемом вариантах. Сварку осуществляли без применения сварочной проволоки. Использование лазерного луча в качестве перспективного источника энергии и правильных режимов сварки позволило получить сварные соединения равнопрочные по величине предела прочности с основным металлом, что дополнительно подтверждается данными измерений микротвердости основного металла и металла шва.

В пятой главе приведены результаты изучения структуры и механических свойств сварных соединений проката стали 04X20H6Г11М2АФБ толщиной 10 мм после исправления их коробления с помощью механической тепловой правки при различных температурах (200, 300, ...600 °С). Установлена оптимальная температура механической тепловой правки (600 °С) исходя из уровня прочности, микротвердости и ударной вязкости сварного соединения.

Обоснованность и достоверность результатов диссертационной работы подтверждаются большим объемом проведенных расчетов и полученных экспериментальных данных, их глубоким анализом, проведенным в соответствии с принципами современного материаловедения. Результаты диссертации в полной мере отражены в 7 статьях в рецензируемых журналах и в 26 сборниках трудов конференций.

На основании рассмотрения диссертационной работы можно сделать следующие замечания:

1. В работе не рассмотрена возможность использования в качестве присадки сварочной проволоки типа Св-07Х25Н13, широко применяемую для выполнения разнородных сварных соединений. Эта проволока не является дефицитной и, вероятнее всего, может быть использована при сварке деталей из азотистых сталей.

2. После сварки литой стали по разработанной технологии была проведена термообработка сварных соединений: 30 минут при 1100 °С с последующим охлаждением в воду. В тексте диссертации отсутствует

пояснение, почему был выбран такой режим и не ясно, является ли этот режим оптимальным в этом случае, т.к. отсутствуют данные о проведении термообработки при других режимах.

3. В дополнение к предыдущему замечанию. Как правило, предпочтительной является технология получения сварных соединений, обеспечивающая их необходимый и достаточный уровень свойств без дополнительной термической обработки. Однако ее положительный эффект зачастую необходим для придания ответственным сварным соединениям более высокого уровня ударной вязкости или коррозионной стойкости. В работе не уделено внимание вопросам влияния термической обработки на структуру и свойства сварных соединений.

4. В главе 4, посвященной изучению сварных соединений, полученных лазерной сваркой, отсутствуют результаты испытаний на коррозионную стойкость.

Тем не менее, сделанные замечания не снижают общей положительной оценки работы. Диссертация В.С. Костиной обладает несомненной новизной, которая заключается в установлении особенности структуры, химического и фазового состава сварных соединений азотсодержащих сталей; выявлении корреляции микротвердости с размером зерна и пределом текучести сварных соединений; получении равнопрочных сварных соединений с использованием лазерной сварки. Практическая ценность работы заключается в развитии технологических основ дуговой и лазерной сварки высокопрочных аустенитных сталей с $\sim 0,5\%$ азота. Сварные соединения, полученные по предложенным технологическим режимам, отличаются высоким уровнем эксплуатационных свойств. Также предложены более экономно легированные никелем (чем применяющиеся высоконикелевые жаропрочные стали и сплавы на никелевой основе) сварочные присадочные материалы, температура механической тепловой правки для устранения коробления, режим послесварочной термообработки. Разработаны технологические рекомендации процесса сварки, подтвержденные актом

опробования. Развитые диссертанткой технологические основы сварки аустенитных сталей с высокой концентрацией азота делают данный вид материала технологичным в производстве и эксплуатации.

Диссертация Костиной Валентины Сергеевны является законченным научным исследованием, свидетельствующем о высокой квалификации соискателя. Она соответствует паспорту специальности 05.16.01, по пунктам 2, 3, 4, 6, 8. По всем критериям (включая такие, как актуальность, научная новизна, достоверность и практическая значимость полученных результатов) диссертация, безусловно, соответствует п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г., а её автор – Костина Валентина Сергеевна - заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01-«Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Ходаков Вячеслав Дмитриевич

03.11.2020

Кандидат технических наук, старший научный сотрудник,
Заведующий лабораторией электродуговой сварки АО НПО «ЦНИИТМАШ»
115088, Москва, ул. Шарикоподшипниковская, д. 4
8 (495) 675-81-55, cniitmash@cniitmash.com

Отзыв В.Д. Ходакова заверяю,
Заместитель генерального директора
по научной работе



Косырев К.Л.