

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу **Никулиной Аэлиты Александровны** «Структура и свойства разнородных соединений, полученных методами сварки и наплавки углеродистых и легированных сталей», представленную к защите на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.16.09 – материаловедение (в машиностроении)

Актуальность темы диссертационного исследования

Проблемы сварки и наплавки разнородных материалов являются одними из наиболее сложных в современном материаловедении. Их решению посвящено множество работ, выполненных отечественными и зарубежными специалистами. Значительная часть этих работ связана с использованием высокоскоростных способов сварки, высококонцентрированных источников нагрева, а также с формированием промежуточных слоев между соединяемыми заготовками. Выбор способа сварки или наплавки для изготовления комбинированных конструкций зависит от многих факторов, например, от габаритов изделий, условий внешнего воздействия, типа производства и экономической целесообразности. При получении крупногабаритных конструкций ответственного назначения решение проблем сварки разнородных материалов имеет особое значение, поскольку надежность этих изделий определяет безопасность жизнедеятельности человека. К подобным конструкциям относятся железнодорожные крестовины стрелочных переводов железнодорожного пути, нагрузка на которые возрастает при все расширяющейся эксплуатации высокоскоростных транспортных средств.

Целью диссертационной работы Никулиной А.А. являлось выявление закономерностей фазовых и структурных преобразований при соединении методами сварки углеродистых и легированных сталей, выявление причин их охрупчивания и обоснование технических решений, обеспечивающих повышение трещиностойкости материалов сварных швов. Диссертационная работа ориентирована на решение задач, связанных с изучением тонкого строения зон переменного химического состава, формирующихся при сварке и наплавке углеродистых и легированных сталей и оказывающих существенное влияние на комплекс механических свойств получаемых комбинированных конструкций.

Содержание работы

Диссертация изложена на 393 страницах, состоит из введения, шести глав, заключения, списка цитируемой литературы из 391 наименования и приложений.

Во введении описаны актуальность темы исследования, цель и задачи диссертационной работы, научная значимость, положения, выносимые на защиту, сведения об апробации.

Первая глава диссертационной работы отражает результаты анализа литературных данных, связанных с основными технологическими процессами, используемыми при получении крупногабаритных комбинированных конст-

рукций ответственного назначения. Дана характеристика проблем, возникающих при формировании соединений из разнородных материалов. На основе результатов литературного обзора в диссертационной работе поставлены цель и задачи исследования.

Во *второй главе* диссертации представлены результаты всесторонних исследований сварных соединений, формируемых между сталями, отличающимися не только химическим составом, но и исходной структурой. Автором проведен глубокий анализ зон переходного состава, формируемых при стыковой контактной сварке высокоуглеродистых и высоколегированных сталей. Наиболее ценные сведения получены при использовании метода просвечивающей электронной микроскопии. Автором показано, что перлитное превращение, развивающееся при сварке аустенитных и перлитных сталей, обладает рядом особенностей. Диссертант впервые зафиксировал слоистые пластинчатые структуры типа «...Ц-Ф-А-Ф-Ц-Ф-А-Ф...», которые были сформированы в пограничной зоне между участками легированного и нелегированного аустенита. В ряде случаев, как показано в диссертационной работе, на границе микрообъемов легированного и нелегированного аустенита, взаимодействующих при стыковой контактной сварке, происходит формирование границ, на которых цементитные пластины внедрены в мартенситную матрицу.

Выявленные экспериментально особенности строения сварных швов между высокоуглеродистой и высоколегированной сталями существенно влияют на показатели механических свойств сварных соединений. В работе отмечено, что механизмы разрушения, реализуемые в сварных швах при приложении статической и динамической нагрузки, могут существенно отличаться. На основе анализа результатов фрактографических исследований автор выделяет дополнительный фактор охрупчивания сварных швов типа «сталь 12Х18Н10Т – сталь Э76», обусловленный скоплением неметаллических включений в зонах, соответствующих пластическому течению хромоникелевой стали при осадке стальных заготовок. При циклическом нагружении четко выраженная структурная неоднородность сварных соединений углеродистой и хромоникелевой сталей, полученных методом стыковой контактной сварки, проявляется в наличии провалов на кинетических диаграммах усталостного разрушения. Их возникновение автор связывает с торможением усталостных трещин на межфазных границах и в более пластичных микрообластях.

На основе выявленных в диссертационной работе причин охрупчивания сварных швов разнородных сталей, полученных методом стыковой контактной сварки, автором предложены два направления повышения конструктивной прочности соединений – термическая обработка и использование промежуточных вставок. Автором показано, что формируемый в сварных швах между углеродистой и легированной сталями мартенсит термически стабилен, и применение разупрочняющей термической обработки эффективным не является. В то же время отмечено, что использование барьерных пластин

может быть эффективным решением для повышения конструктивной прочности сварных соединений.

В *третьей главе* представлены результаты исследования материалов, полученных в ходе модельного процесса – электроискрового спекания стальных порошков. При его реализации была многократно увеличена площадь взаимодействия разнородных материалов, что позволило автору выявить системный характер строения соединений разнородных материалов. Так, А.А. Никулина показала, что при электроискровом спекании порошков углеродистой перлитной и хромоникелевой аустенитной сталей в зонах взаимодействия разнородных микрообъемов происходит формирование колоний пластинчатого перлита, в которых, помимо феррита и цементита присутствуют микрообъемы аустенита в виде тонких прослоек или островков, так же как и при стыковой контактной сварке данных сталей. Особое внимание автор обращает на форму фронта, отделяющего зону с аустенитной (аустенито-мартенситной) структурой от зоны с перлитным строением, где происходит отставание границы $\gamma \rightarrow \alpha$ превращения от границы $\gamma \rightarrow \text{Fe}_3\text{C}$ превращения с формированием заостренных «клиньев» аустенита.

В *четвертой главе* представлены результаты исследований структурно-фазовых превращений при сварке взрывом аустенитных и углеродистых сталей. Автор изучал возможность формирования промежуточных вставок с использованием данной технологии. В работе показано, что даже с использованием сварки взрывом соединение стали Гадфильда и углеродистых сталей затруднено и происходит с формированием большого количества дефектов в высокомарганцевистой стали. С использованием метода просвечивающей электронной микроскопии показано, что при сварке взрывом углеродистой и аустенитной сталей в тонком слое, прилегающем к сварному шву, формируются прерывистые участки с мартенситным строением.

Пятая глава диссертации посвящена результатам исследований структурных преобразований, происходящих при наплавке легированных слоев на углеродистые стали с использованием методов импульсно-дуговой и вневакуумной электронно-лучевой наплавки.

Особое внимание автор уделяет изучению строения зоны термического влияния в углеродистой стали. Методами просвечивающей и растровой электронной микроскопии выявлены детали тонкого строения данной зоны. Автором показано, что зона термического влияния в стали Э76 при импульсно-дуговой наплавке легированной проволоки А7-IG характеризуется дисперсным строением структурных составляющих. Средний размер перлитных колоний в зоне термического влияния в 6 раз меньше по сравнению с исходной сталью Э76, а минимальный размер новых ферритных зерен составляет ~ 1 мкм. Пластины цементита характеризуются неправильной формой, прерывистостью, высокой степенью кривизны, дефектами в виде несплошностей.

В *шестой главе* представлены материалы, связанные с практическим использованием результатов проведенных исследований. Автором описаны

технические решения, реализация которых позволяет повысить надежность крупногабаритных сварных конструкций ответственного назначения. Материалы диссертации переданы для практического использования в АО «Новосибирский стрелочный завод» и на федеральное казенное предприятие «Новосибирский опытный завод измерительных приборов».

В *заключении* автор излагает основные результаты и выводы, а также перспективы дальнейшей разработки темы.

Соответствие автореферата содержанию диссертации

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации и опубликованным работам А.А. Никулиной.

Научную ценность диссертационной работы представляют результаты, показывающие особенности мартенситных структур, формирующихся в различных зонах сварных швов разнородных сталей, и характер их влияния на трещиностойкость сварных соединений.

Особую ценность представляют результаты, связанные с исследованием механизма распада переохлажденного аустенита с формированием структуры перлита слоистого типа с чередованием слоев в последовательности «...Ц-Ф-А-Ф-Ц-Ф-А-Ф...». Следует подчеркнуть, что процесс электроискрового спекания подтвердил результаты, полученные при стыковой контактной сварке.

Заслуживают внимания результаты изучения тонкого строения зон взаимодействия разнородных сталей. Автором зафиксировано присутствие прослоек с мартенсито-цементитной структурой, свидетельствующих о внедрении цементитных пластин в объемы легированного аустенита на этапе развития $\gamma \rightarrow \alpha$ -превращения.

А.А. Никулиной показано, что важным фактором, негативно отражающимся на трещиностойкости соединений, полученных методом стыковой контактной сварки оплавлением разнородных углеродистых и аустенитных сталей, является преобразование неметаллических включений на стадии осадки заготовок в тонкие пленки и ориентирование их в процессе пластического течения материала вдоль сварных швов.

Одним из достоинств работы является проведение математического моделирования процессов электроискрового спекания стальных порошков, адекватность которого доказано физическими экспериментами.

Принципиально новым является предложенный автором и обоснованный с точки зрения структурообразования способ применения дополнительных промежуточных элементов (вставок и барьерных пластин из низкоуглеродистой стали) для получения максимальной конструкционной прочности сварных соединений хромоникелевой стали и стали Гатфильда.

Практическая значимость диссертационной работы определяется возможностью применения представленных результатов теоретических и экспериментальных исследований для получения комбинированных конструкций с использованием различных типов промежуточных вставок.

Диссертация является результатом завершенной научно-исследовательской работы автора.

Достоверность и обоснованность приводимых в работе результатов, выводов и рекомендаций определяется применением комплекса современных методов исследования, аналитического и испытательного оборудования мирового уровня, применением стандартных методик статистической обработки экспериментальных данных, а также соответствием экспериментальных результатов данным российских и зарубежных специалистов.

Автореферат и список публикаций полностью отражают содержание диссертации. Основные результаты работы опубликованы в 37 работах, из них 17 статей в рецензируемых научных изданиях, входящих в список ВАК, и 7 публикаций в изданиях, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus, 2 монографии, 9 статей в прочих изданиях, зарегистрировано 2 патента на изобретения.

По работе можно сделать следующие замечания:

1. Неудачна формулировка 1 положения, вынесенного на защиту. Более значимо вынести закономерности формирования структуры сварного соединения разнородных сталей при стыковой контактной сварке оплавлением, которые заключаются в следующем ...

2. Положение 4, вынесенное на защиту, по сути, является констатацией отрицательного результата. Уместно было сформулировать его с точки зрения доказанной в работе устойчивости мартенсита к высокотемпературному воздействию.

3. В работе обозначение микротвердости не соответствует требованиям ГОСТ 9450-76 и ГОСТ Р ИСО 6507 - 1 - 2007. Нигде в тексте не указана нагрузка, при которой проводили измерения. В соответствии с требованиями этих стандартов нагрузка указывается в обозначении, например, 450 HV 0,05. Возможно, измерения были выполнены при разных нагрузках, но это не указано в тексте.

4. Результаты микрорентгеноспектрального анализа неметаллических включений в исследованном сварном шве лучше приводить в атомных процентах, это наглядно укажет на их стехиометрический состав.

5. В работе показана отрицательная роль пленочных скоплений неметаллических включений в сварном шве, но не сформулированы предложения по устранению их формирования.

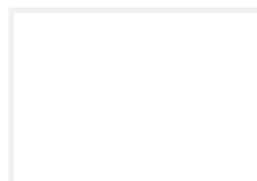
Заключение

Тематика и содержание диссертации Никулиной А.А. соответствуют паспорту специальности 05.16.09 – Материаловедение (в машиностроение) в части пунктов 1, 2, 3 и 5.

Работа выполнена в соответствии с требованиями п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК Российской Федерации (Постановление Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г., № 842), предъ-

являемыми к докторским диссертациям. Представленная диссертация является научно-квалификационной работой содержащей новые научно обоснованные технические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие материаловедения сварки и наплавки, а ее автор Никулина Аэлита Александровна заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.16.09 – материаловедение (в машиностроении).

Официальный оппонент,
главный научный
сотрудник лаборатории
микромеханики материалов
Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Института машиноведения
Уральского отделения
Российской академии наук,
доктор технических наук (05.02.01),
доцент

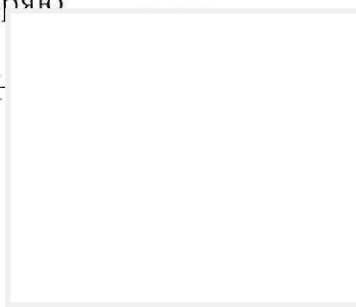


Н.Б. Пугачева

20. ноября 2020 г.

Подпись главного научного сотрудника, доктора технических наук, доцента Пугачевой Наталии Борисовны заверяю



Ученый секретарь ИМАШ УрО РАН
к.т.н.



А.М. Поволоцкая

Служебный адрес:

620049, г. Екатеринбург, ул. Комсомольская, 34, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки, Институт машиноведения Уральского отделения Российской академии наук (ИМАШ УрО РАН), тел. +7 (343) 374-47-25, E-mail: ges@imach.uran.ru, официальный сайт организации <http://www.imach.uran.ru>

Получил в седем 26.11.2020  *Любимов С. Ф.*
С отпуском ознакомлен  *26.11.2020 г. Никулина А. А.*