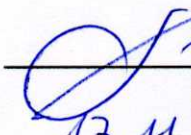


УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор – проректор по научной
работе МГТУ имени Н.Э.Баумана
доктор технических наук, профессор


17.11.
 В.И. Зимин
2018 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации ФБГОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» на диссертационную работу Ольшанской Татьяны Васильевны «Теоретические и технологические основы формирования сварных соединений легированных сталей при электронно-лучевой сварке с разверткой луча», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальностям 05.02.10 – Сварка, родственные процессы и технологии, 05.16.09 – Материаловедение (машиностроение)

Актуальность диссертационной работы

Сварка термически упрочняемых среднелегированных и теплоустойчивых сталей сопровождается рядом трудностей. Для получения сварных соединений с заданным комплексом механических свойств традиционно принято применение предварительного подогрева и последующей термической обработки. В случае, когда технологически невозможно применение последующей термической обработки, возникает необходимость подбора режимов сварки для получения наиболее благоприятного сочетания структуры и свойств сварного соединения, исключающих образования хрупких закалочных структур. Эффективным инструментом регулирования термических циклов при электронно-лучевой сварке (ЭЛС) является применение развертки электронного луча. Отклонение электронного луча в процессе сварки позволяет производить нагрев одновременно в нескольких обрабатываемых зонах, а так же совмещать сварку с локальным подогревом и последующей термической обработкой. Разработка научно обоснованных методов регулирования процессов формирования структуры легированных сталей, посредством изменения термических циклов при электронно-лучевой сварке с использованием развертки луча, а так же методов прогнозирования формирующейся

структуры, является актуальной задачей. На основе данных методов могут разрабатываться рекомендации по технологии ЭЛС и параметрам режимов для получения качественных сварных соединений для конструкций, не подвергаемых последующей термической обработке.

Следует отметить, что электронно-лучевая сварка отличается от других способов сварки значительно большими скоростями нагрева и охлаждения, применение известных на данный момент методов прогнозирования структурного состава сварных соединений могут привести к существенным ошибкам. Поэтому развитие новых методов прогнозирования структуры, выбор критериев применительно к высокоскоростным процессам, так же является актуальной задачей.

Научная новизна

Научная новизна диссертации заключается в следующем:

1. Разработаны новые модели для расчета температурных полей при ЭЛС с колебаниями луча по продольной, поперечной и Х-образной траекториям на базе аналитического подхода. Для получения характерной для ЭЛС формы проплавления в тепловых моделях используется комбинированный тепловой источник, состоящий из поверхностного, с увеличенным радиусом, и распределенного по глубине, действующего под поверхностью металла. Получены регрессионные зависимости для определения параметров комбинированного источника в зависимости от параметров режима сварки.
2. Получено решение тепловой задачи при ЭЛС с разверткой луча, имитирующей многолучевую сварку при одновременном действии нескольких тепловых источников. Представлена процедура определения параметров данных источников с учетом импульсного воздействия электронного луча в свариваемой зоне.
3. Получены универсальные уравнения, характеризующие процесс кристаллизации и первичную структуру металла шва при характерной для ЭЛС форме сварочной ванны. Установлено влияние размеров и формы фронта кристаллизации при глубоком проплавлении на изменение характера процесса кристаллизации и форму первичных зерен.
4. Установлено, что многолучевая сварка с комбинированной разверткой луча позволяет существенно влиять на температурно-временные режимы ЭЛС, и за счет этого обеспечивать получение заданной структуры, снижение уровня упорочнения сварного соединения, а также степени структурной и механической неоднородности.
5. Предложен метод построения структурных диаграмм для среднелегированных сталей, описывающих кинетику превращения аустенита при непрерывном охлаждении в условиях термического цикла ЭЛС.

6. Представлена методика определения процентного содержания структурных составляющих, образующихся при ЭЛС в различных участках сварного соединения, на основе построения структурных диаграмм в зависимости от скорости охлаждения.

Обоснованность научных положений и выводов

Обоснованность научных положений и выводов подтверждена применением апробированных теоретических, расчетных и экспериментальных методов исследования, корректностью принимаемых допущений. В процессе разработки моделей использовались основные положения теории теплопроводности, тепломассопереноса, аналитические и численные методы математического моделирования, методы математической статистики, в том числе методы планирования эксперимента.

Достоверность полученных результатов

Достоверность полученных результатов подтверждается применением стандартизированных методов лабораторных испытаний и исследований, воспроизводимостью и согласованностью получаемых данных, сопоставлением результатов моделирования с экспериментальными данными, их корреляцией с имеющимися данными и результатами других исследователей. Экспериментальные исследования проводились с применением поверенного оборудования и современных методик исследования: оптической и электронной микроскопии, определение механических свойств, в том числе безобразцовым методом кинетического индентирования и др.

Практическая ценность

На основе проведенных исследований разработаны технологические рекомендации по совершенствованию процесса ЭЛС с колебаниями луча, внедрена технология многолучевой сварки для изделий ответственного назначения из среднелегированных сталей на ряде машиностроительных предприятий и предприятий аэрокосмической отрасли Пермского края: АО Пермский завод «Машиностроитель», АО «ОДК – Пермские Моторы», ПАО «Протон – ПМ», ООО Фирма «Радиус-Сервис», ООО Производственная компания «Теплов и Сухов», что позволило повысить качество сварных соединений, снизить процент брака и уменьшить затраты на производство и ремонт.

Апробация работы

Результаты работы были доложены на 20 конференциях, в том числе на 17 международных, а также опубликованы в ведущих научных изданиях. По материалам диссертационной работы опубликованы в 43 научных статьи, в том числе 22 статьи в изданиях, входящих в международные базы цитирования Web Of Science, Scopus, а так же в изданиях, рекомендованных ВАК РФ. Получен патент РФ на изобретение, опубликована глава в монографии, издано учебное пособие.

Структура, объем и основное содержание работы

Диссертация состоит из введения, семи глав, общих выводов и списка литературы и приложений. Работа изложена на 367 страницах, содержит 128 рисунков, 23 таблицы, 169 формул, список цитируемой литературы из 248 наименований и 7 листов приложений.

Во *введении* обоснована актуальность проблемы, указаны новизна и практическая значимость, изложены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе проведен анализ существующих методов управления процессами формирования структуры сварных соединений и возможности их применения при ЭЛС, сформулированы цель работы и решаемые задачи.

Вторая глава посвящена разработке математических моделей для анализа температурных полей при ЭЛС без развертки и с разверткой луча. Обоснованы расчетные схемы, сформированы комбинированные источники теплоты и расчетные процедуры, проведена верификация аналитических моделей по очертанию зоны проплавления реальных швов.

В третьей главе представлены результаты разработки математической модели для описания процесса кристаллизации и определены численные значения параметров первичной структуры металла шва при глубоком проплавлении, характерном для ЭЛС.

В четвертой главе представлены использованные подходы к прогнозированию параметров микроструктуры сварного соединения применительно к температурно-временным условиям ЭЛС, представлены полученные структурные диаграммы для различных участков сварного соединения. Описаны математические процедуры получения количественных показателей фазового состава структуры.

В пятой главе представлены результаты сравнения количественных показателей, полученных расчетом и экспериментально применительно к ЭЛС статическим лучом, показано влияние параметров режима сварки на степень структурной и механической неоднородности сварного шва.

Шестая глава посвящена исследованию колебаний луча при сварке на формирование сварных швов высокопрочных среднелегированных сталей. Показано, что применение колебаний луча при ЭЛС позволяет влиять на форму и размеры сварочной ванны, и управлять процессом кристаллизации. Определены рациональные диапазоны амплитуды х-образной осцилляции, позволяющие за счет изменения схемы кристаллизации в центральной части шва снизить степень его структурной и механической неоднородности.

В седьмой главе представлены результаты расчетных и экспериментальных исследований формы проплавления, условий формирования макро- и микроструктуры сварных соединений теплоустойчивых сталей и их механических свойств при ЭЛС с разверткой луча, имитирующей многолучевую сварку. Показано, что комбинированная развертка луча обеспечивает существенное снижение неоднородности механических свойств сварного соединения и их приближение к уровню свойств основного металла.

Соответствие диссертации выбранной специальности

Тема и основное содержание диссертации, а также результаты исследований полностью соответствуют паспорту научной специальности 05.02.10 «Сварка, родственные процессы и технологии» (технические науки), а именно п. 2. «Металлургические процессы в сварочной ванне, кристаллизация сварных швов», п. 3. «Физические процессы в материалах при сварке и родственных технологиях, фазовые и структурные превращения, образование соединений и формирование их свойств» и п. 5. «Тепловые процессы и деформации при сварке, пайке и наплавке». Результаты исследований главы 4 соответствуют п.8. «Разработка и компьютерная реализация математических моделей физико-химических, гидродинамических, тепловых, хемореологических и деформационных превращений при производстве, обработке, переработке и эксплуатации различных материалов. Компьютерное проектирование композиционных материалов. Компьютерный анализ и оптимизация процессов получения и эксплуатации материалов» паспорта научной специальности 05.16.09 «Материаловедение (машиностроение)». Таким образом, выбор двух научных специальностей представляется обоснованным.

Замечания по работе

В качестве замечаний можно отметить следующее:

1. В главе 2, посвященной разработке тепловых моделей, автор представил результаты сравнения лишь нескольких очертаний расчетных и экспериментальных нагретых зон. Следовало бы дать больше материалов по верификации расчетных моделей в компактной форме, например, в виде корреляционных полей.
2. В работе определены численные значения показателей, характеризующих макроструктуру металла шва при глубоком проплавлении, когда коэффициент формы проплавления $K_{PH} < 0,2$. Из работы не ясно, изменятся ли значения данных показателей, если отношение ширины шва к глубине будет больше?
3. Из работы не ясно, в каких диапазонах температурно-временных параметров термических циклов сварки возможно корректное использование математических моделей, прогнозирующих макроструктуру металла шва и микроструктуру сварного соединения, формирующуюся при охлаждении, и возможно ли использование для этой цели термических циклов, полученных экспериментально или численно?
4. Автор упоминает о возможности использования разработанных компьютерных моделей структурных диаграмм для решения обратных задач, однако самих решений таких задач в тексте диссертации не приведено.
5. Представленные в диссертации математические модели для прогноза структурного состояния позволяют получать лишь количественные оценки фазового состава структуры стали. Из текста диссертации не ясно, продвинулся ли ав-

тор в прогнозах других характеристик структуры – морфологии, дисперсности компонентов структуры и т.п.?

Все упомянутые замечания носят частный характер, и не влияют на общее положительное впечатление от работы.

Заключение

Диссертация содержит совокупность выносимых на защиту новых научных результатов и положений, имеет внутреннее единство и свидетельствует о личном вкладе автора в науку. Диссертационная работа Ольшанской Татьяны Васильевны является самостоятельной, завершённой, научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны новые научно обоснованные технические и технологические решения, внедрение которых имеет существенное значение для машиностроения.

Публикации автора отражают основные научные и практические результаты. Диссертация соответствует требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук, а соискатель Ольшанская Татьяна Васильевна заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по научным специальностям 05.02.10 – Сварка, родственные процессы и технологии, 05.16.09 – Материаловедение (машиностроение).

Диссертационная работа рассмотрена на заседании кафедры «Технологии сварки и диагностики», протокол № 4 от 16.11.2018 г.

Заведующий кафедрой,
академик РАН



Н.П. Алешин

Алешин Николай Павлович, д.т.н., профессор, академик РАН,
заведующий кафедрой технологий сварки и диагностики МГТУ имени Н.Э.Баумана
105005, Москва, 2-я Бауманская ул., 5. aleshin@bmstu.ru, (499) 261-42-57

Профессор кафедры
технологий сварки и диагностики



Б.Ф. Якушин

Якушин Борис Федорович, д.т.н., профессор,
профессор кафедры технологий сварки и диагностики МГТУ имени Н.Э.Баумана
105005, Москва, 2-я Бауманская ул., 5. (499) 263-67-42