

В диссертационный совет Д 999.100.02
на базе ФГБОУ ВО «Национальный
исследовательский университет «МЭИ»»,
ФГБОУ ВО «Пермский национальный
технический университет»
г. Москва, ул. Красноказарменная, 14.

ОТЗЫВ

официального оппонента 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 специальности
05.02.10 – Сварка, родственные процессы и технологии и 05.16.09 –
Материаловедение (машиностроение)

На отзыв представлена диссертационная работа, состоящая из введения, семи глав, основных выводов и приложений, списка литературы из 248 наименований. Диссертация изложена на 332 страницах, содержит 24 таблицы и 183 рисунка. Автореферат, изданный на правах рукописи, содержит 36 страниц. Материалы, изложенные в автореферате, достаточно полно отражают содержание диссертации Ольшанской Т.В.

Диссертационная работа Ольшанской Т. В. выполнена на основании значительного объема теоретических и практических исследований, проведенных непосредственно автором или при его участии в творческом коллективе.

Метод электронно-лучевой сварки в различных вариантах широко применяется при изготовлении деталей авиационной, аэрокосмической, машиностроительной отраслей, в том числе, при невозможности последующей термической обработки таких деталей в силу их конструктивных особенностей. Поэтому *научный интерес и актуальность* представляют работы, посвященные техническим приемам, позволяющим получать заданную структуру, регулировать термические циклы при сварке, предусматривающие отклонение луча по любой траектории или расфокусировку луча для предварительной или последующей термообработки, а также использование «расщепления луча» для одновременной обработки нескольких зон. При этом следует учитывать тот факт, что качество сварного шва определяется не только его геометрией, но и геометрией свариваемых изделий и толщин, и получаемой структурой при кристаллизации сварочной ванны, и обязательно структурными и фазовыми изменениями в зоне термического влияния. Кроме этого, в понятие «физическая и технологическая свариваемость» входят еще вопросы, связанные с формой провара, которая имеет специфику при сварке высококонцентрированными источниками энергии, а также способность

свариваемых изделий сопротивляться образованию горячих и особенно опасных холодных трещин. Все эти факторы не арифметической суммой влияют на качество сварного шва, их сложно учитывать для определения качественной структуры, получаемой при кристаллизации сварочной ванны. В таких случаях необходим сложный, многофакторный и длительный эксперимент, либо построение качественной математической модели, чему и посвящена работа Ольшанской Т.В.

Поэтому представленная работа, в которой проведено многофакторное моделирование процессов сварки электронным лучом с разверткой для прогнозирования структуры и свойств готового сварного изделия, является, безусловно, **востребованной и актуальной**.

Автор проводит исследование сварки лучом с комбинированной разверткой – продольной, поперечной, х-образной, что сделано впервые и представляет **научный интерес**, т.к. тип траектории, вид и параметры развертки обеспечивают недостающий определенный термический цикл, от которого зависит характер формирования шва и предотвращение возникновения холодных трещин, а также структура сварного соединения и конечные свойства изделия в целом.

Научная новизна работы Ольшанской Т.В. состоит:

- *в новом системном подходе* к процессу электронно-лучевой сварки, основанном на получении тепловых моделей для этого вида сварки с колебаниями луча по продольной, поперечной и х-образной траектории, позволяющих имитировать многолучевую сварку при одновременном действии нескольких тепловых источников. Применяемое в работе математическое моделирование позволяет получить распределение температур в зоне сварки и геометрию проплавления, что дает возможность прогнозировать структуру и свойства сварного соединения и решает поставленную задачу повышения качества сварки.

- *в научном обосновании* процессов электроннолучевой сварки с применением различной развертки электронного луча для дополнительной термической обработки сварного шва и зоны термического влияния;

- *в научном обосновании* процессов кристаллизации среднелегированных сталей и получения первичной структуры металла шва при любой форме провара: установлено влияние размеров и формы фронта кристаллизации при глубоком проплавлении на изменение процесса кристаллизации и форму первичных кристаллов; моделирование проведено для сварки с *различной конфигурацией развертки* электронного луча, что сделано автором *впервые*.

- *в научном обосновании* метода построения структурных диаграмм для среднелегированных сталей, а также метода определения процентного содержания структурных составляющих сварочной ванны при различных скоростях охлаждения; определены основные показатели термоцикла, определяющие структуру сварного шва – это максимальная температура

нагрева для данного термоцикла и максимальная достигаемая *мгновенная* скорость охлаждения;

- в *подробном исследовании кинетики* превращения аустенита при непрерывном охлаждении в зависимости от термического цикла электроннолучевой сварки; определены условия образования роста кристаллов и формирования в центре шва равноосной, качественной структуры; построены изотермические, термокинетические и анизотермические диаграммы распада аустенита исследуемых сталей с помощью физических моделей, а также с помощью искусственных нейронных сетей. При этом установлена высокая корреляция экспериментальных результатов с полученными уравнениями регрессии.

- в *установлении влияния* режимов многолучевой сварки с комбинированной разверткой луча на температурно-временные характеристики электроннолучевой сварки и получение однородной структуры с высокими механическими свойствами;

- в *разработке* тепловых моделей лучевой сварки с *реальным фронтом* кристаллизации, имеющим сложную конфигурацию; и в *получении универсальных уравнений*, позволяющих анализировать процесс кристаллизации и структуру шва при любой форме сварочной ванны, что дает возможность оценивать опасность возникновения горячих, и, частично, холодных трещин;

Достоверность научных результатов и выводов определена проведением экспериментов с использованием современных методов и методик; использованием сертифицированного оборудования и применяемой в качестве теоретической базы классической теории теплопроводности, тепломассопереноса, аналитических и численных методов математического моделирования, методов математической статистики, в том числе методов планирования эксперимента, а также согласованностью теоретических результатов с экспериментальными данными, полученными автором и другими исследователями, работающими в данной области;

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций.

В работе приведены семь основных выводов, вытекающих из теоретического обоснования и большой базы экспериментальных исследований.

Кроме того, моделирование тепловых процессов основано на классических уравнениях, разработанных такими выдающимися учеными, как Рыкалин Н.Н., Углов А.А., Зуев И.В., Кокора А.Н., Язовских В.М. и др. Адекватность полученных моделей доказана. Проведенные экспериментальные исследования показали хорошую сходимость результатов с расчетными данными. Полученные решения сравниваются с результатами других авторов.

Практические рекомендации по совершенствованию процесса электроннолучевой сварки с колебаниями луча нашли свое применение на промышленных предприятиях аэрокосмической отрасли, что подтверждено актами внедрения. Анализ работы позволяет отметить новизну, достоверность и обоснованность приведенных в работе положений, выводов и рекомендаций.

Научная и практическая важность результатов.

Разработанные автором технологические рекомендации по совершенствованию процесса электроннолучевой сварки позволяют *формировать качественную структуру* сварного шва и зоны термического влияния при сварке среднелегированных сталей преимущественно авиационного назначения, которые в силу конструктивных особенностей не подвергаются дополнительной последующей термической обработке с целью снижения внутренних напряжений и уменьшения опасности возникновения горячих кристаллизационных трещин. Метод многолучевой сварки с комбинированной разверткой луча позволяет *существенно влиять* на температурный режим сварки и обеспечивает получение заданной структуры, повышение пластичности сварного соединения и снижение структурной и механической неоднородности, что не достигается при сварке без развертки луча.

Разработанные автором тепловые модели сварки без колебания электронного луча и с колебаниями по разным траекториям позволяют теоретически *обосновать и рассчитать* оптимальные режимы сварки без дополнительных экспериментов.

Полученные термокинетические диаграммы превращения аустенита при непрерывном охлаждении позволяют *прогнозировать* структуру сварочной зоны, а также оценивать ее структурную неоднородность. Применение колебаний электронного луча в разных направлениях позволяет *управлять* размерами сварочной ванны, тепловым режимом сварки и, соответственно, *формировать* структуру с заданными свойствами.

Полученные автором регрессионные уравнения *могут быть использованы* для описания и изучения процесса кристаллизации при любой форме провара, а также *при назначении* технологических режимов сварки, обеспечивающих наилучшее сочетание структуры и свойств сварного шва и зоны термического влияния.

Внедрение технологического процесса многолучевой сварки для изделий ответственного назначения из среднелегированных сталей на машиностроительных предприятиях и предприятиях аэрокосмической отрасли АО «ОДК - Пермские Моторы», ПАО «Протон – ПМ», ООО Фирма «Радиус-Сервис» и других подтверждают **практическую ценность** результатов работы Ольшанской Т.В.

Замечания по диссертационной работе:

1. Для построения термических циклов и мгновенных скоростей автором были выбраны следующие участки сварного соединения: металл шва, зона перегрева, зона полной перекристаллизации. Но есть еще одна важная зона, свойства которой оказывают влияние на работоспособность всей конструкции: в ней чаще всего развиваются трещины, коррозия, усадка и другие дефекты, она примыкает к металлу шва и нагревается ниже температуры ликвидус и выше солидуса, находясь в твердо-жидком состоянии – зона сплавления, где и происходит сварка между частично оплавившимися зернами основного металла и шва. Этот участок следовало бы тоже принять в расчет при прогнозировании структуры сварного шва.
2. Автор повышает качество сварного шва, проделав огромную работу по построению тепловых моделей, регрессионных уравнений и структурных диаграмм, позволяющих прогнозировать структуру и свойства после сварки. Но при исследовании процессов кристаллизации следовало бы затронуть тему сварочных напряжений, которые обязательно возникают и являются причиной и горячих, и типичных для этого класса сталей холодных трещин – при усадке и образовании малопластичного каркаса, при фазовых и структурных превращениях аустенита, при изменении формы шва и разном коэффициенте формы провара.
3. Электроннолучевая сварка проходит в вакууме. В тексте нигде не отмечено, оказывает ли вакуум какое-либо влияние на процессы кристаллизации и формирование первичной макроструктуры шва?
4. Автор выполнил большой объем работ по сварке и материаловедению, но п.1 в «научной новизне» звучит так: «Разработаны новые тепловые модели...», п.2 – «Получено решение тепловой задачи...», п.3 – «Получены универсальные уравнения...». Очевидно, что в первую очередь следовало бы отразить и сформулировать «новизну», касающуюся сварки и материаловедения, т.к. работа проходит именно по этим специальностям.
5. В тексте много синтаксических ошибок.

Отмеченные выше замечания не снижают научной и практической ценности диссертационной работы.

Диссертационная работа оформлена в соответствии с требованиями ВАК, хорошо иллюстрирована графическим материалом. Основные результаты работы опубликованы в печати.

Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Диссертационная работа в целом представляет собой завершённое исследование, посвящённое решению актуальной проблемы, апробирована на научных конференциях, включая международные, соответствует всем требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013 года, а ее автор Ольшанская Т.В. заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.02.10 –Сварка, родственные процессы и технологии и 05.16.09 – Материаловедение (машиностроение)

Официальный оппонент,
доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры
«Технология конструкционных материалов»
ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-дорожный
государственный технический университет (МАДИ)»



Белашова Ирина Станиславовна.

Подпись Белашовой Ирины Станиславовны заверяю.

Проректор МАДИ



Чубуков А.Б.

125319, Москва, Ленинградский проспект, 64.
Тел. (499) 151-6412, факс (499) 151-8965. Интернет:
<http://www.madi.ru>. E-mail: info@madi.ru, irina455@inbox.ru