

Аннотация проекта, выполненного в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 гг.

Государственный контракт № 02.740.11.0134 от 15 июня 2009 г.

Тема: «Исследование процессов формирования дефектов в сварном шве при гибридной лазерно-дуговой сварке кристаллических материалов и разработка системы мультисенсорного мониторинга гибридных сварочных процессов»

Исполнитель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет» (ФГБОУ ВПО «СПбГПУ»)

Ключевые слова: лазерно-дуговая сварка, дефекты, алгоритмы контроля и управления, система мультисенсорного мониторинга

1. Цель проекта

1. Формулировка задачи / проблемы, на решение которой направлен реализованный проект.

Создание автоматизированной системы мониторинга и управления гибридными лазерно-дуговыми процессами обработки кристаллических материалов. Автоматизация гибридных лазерно-дуговых технологических процессов является необходимым условием их промышленного внедрения.

2. Формулировка цели реализованного проекта, места и роли проекта и его результатов в решении задачи/проблемы, сформулированной в п. 1.1. Построение физической картины процессов формирования сварного шва при лазерно-дуговой сварке, выявление причин образования дефектов и создание методов их предотвращения, а также разработка алгоритмов и аппаратной части для контроля и управления технологическим процессом в режиме реального времени.

2. Основные результаты проекта

1) Краткое описание основных полученных результатов

В ходе выполнения проекта разработана теория формирования дефектов сварного шва при лазерно-дуговой сварке, построенная на предположении о том, что основной причиной появления дефектов являются автоколебания, развивающиеся в сварочной ванне при сварке с глубоким проплавлением. Для количественной оценки влияния неустойчивости расплава в сварочной ванне на формирования сварного шва на основе механики Лагранжа была построена динамическая модель сварочной ванны, позволяющая исследовать развитие термокапиллярных волн большой амплитуды на поверхности парогазового канала с помощью методов математического и компьютерного моделирования. На основе результатов компьютерного моделирования и технологических исследований разработана методика предотвращения образования дефектов в сварных швах при лазерно-дуговой сварке, основанная на продольном сканировании лазерного луча при сварке. Для отработки технологии контроля и управления гибридными лазерно-дуговыми процессами обработки кристаллических материалов на базе лазерно-дугового технологического комплекса был создан экспериментальный стенд. В качестве источника лазерного излучения использовался волоконный лазер ЛС-15 мощностью 15кВт. Для обеспечения высокой точности обработки была разработана адаптивная система позиционирования технологического инструментария, обеспечивающая постоянный контроль положения технологической головки относительно обрабатываемого изделия и компенсацию возможных погрешностей в режиме реального времени. На основе результатов теоретических исследований, технологических экспериментов и компьютерного моделирования был создан экспериментальный образец системы мультисенсорного мониторинга и управления лазерно-дуговыми технологическими процессами.

2) Указание основных характеристик созданной научной продукции;

Точность разработанной математической модели динамического поведения расплава в сварочной ванне при лазерно-дуговой сварке более 90 %.

Система позиционирования технологического инструментария обеспечивает наведение технологического инструментария на заданную траекторию с погрешностью не более 100 мкм за время не более 0.01 с.

Экспериментальный стенд позволяет обрабатывать технологии лазерной и лазерно-дуговой сварки сталей и легких сплавов толщиной до 15 мм (за один проход)

Достоверность идентификации дефектов и измерений размеров зоны лазерно-дугового воздействия, полученных с помощью системы мониторинга не ниже 85 %.

3) Описание новизны научных решений

Новизной данной работы является использование мультисенсорного принципа при создании системы мониторинга процесса лазерно-дуговой сварки. В качестве сигналов, несущих информацию о ходе технологического процесса и динамического поведения зоны гибридного воздействия, использовались: проводимость плазмы эрозионного факела, оптическое излучение в широком диапазоне длин волн, отраженное лазерное излучение, пространственное положение плазменного факела. Регистрация, обработка и анализ информационных сигналов различной физической природы позволили повысить достоверность разработанной системы мониторинга.

4) Сопоставление с результатами аналогичных работ, определяющими мировой уровень.

В отличие от существующих систем мониторинга, работа которых основана на сравнении регистрируемого сигнала с эталонным, в основу разработанной системы мониторинга заложены алгоритмы обработки сигналов, построенные на физически адекватной взаимосвязи динамики сигналов и процессов формирования сварного шва. Полученные результаты полностью соответствуют мировому уровню исследований и разработок в области автоматизации и мониторинга сварочных процессов.

3. Назначение и область применения результатов проекта

1) Описание областей применения полученных результатов

Полученные результаты могут быть использованы при подготовке специалистов в сфере высокоэффективных технологий обработки кристаллических материалов и автоматизации технологических процессов. В настоящее время полученные результаты внедрены в образовательные программы кафедры «Сварка и лазерные технологии» СПбГПУ.

Системы текущего мониторинга и управления являются необходимой частью для создания современных промышленных лазерно-дуговых технологических комплексов, предназначенных для реализации различных гибридных технологий (сварка, термообработка, напыление и наплавка).

Внедрение лазерно-дуговых технологий актуально для авиастроения, автомобилестроения, судостроения и других отраслей промышленности.

2) Описание направлений практического внедрения полученных результатов или перспектив их использования;

Для более широкого внедрения результатов НИР в образовательный процесс СПбГПУ разработана программа внедрения, предполагающая разработку дополнительных глав к лекционным курсам «теоретические основы обработки концентрированными потоками энергии», «технология обработки концентрированными потоками энергии», «контроль и автоматизация обработки концентрированными потоками энергии», а также разработку лабораторный практикума «Контроль и управление гибридными лазерно-дуговыми сварочными процессами обработки» в рамках курсов: «Механизация и автоматизация технологических процессов сварочного производства», «Контроль качества сварных соединений».

Для перевода полученных результатов в стадию практического применения подготовлен проект технического задания на выполнение опытно-конструкторских работ: «Разработка и изготовление системы мониторинга и системы слежения за свариваемым стыком и измерения зазора в стыке при гибридной лазерно-дуговой сварке».

3) Оценка или прогноз влияния полученных результатов на развитие научно-технических и технологических направлений; разработка новых технических решений; на изменение структуры производства и потребления товаров и услуг в соответствующих секторах рынка и социальной сферы.

Внедрение систем, контролируемых в режиме реального времени технологические параметры и работу всех подсистем технологического комплекса, а также осуществляющих текущий контроль качества обработки обеспечит возможность практического промышленного применения гибридных лазерно-дуговых технологий. Применение лазерно-дуговых технологий значительно расширяет спектр используемых материалов и конструктивных решений, позволяя повысить эксплуатационные характеристики выпускаемых изделий.

4) Описание ожидаемых социально-экономических эффектов от использования товаров и услуг, созданных на основе полученных результатов

Использование результатов данного проекта позволит: повысить производительность труда за счет снижения временных затрат на сборочные операции и дефектоскопию готовых изделий; снизить материалоемкость производства за счет снижения количества брака и изменения конструктивных особенностей сварного соединения. Также лазерно-дуговые технологии являются менее энергоёмкими по сравнению, как с традиционными дуговыми сварочными технологиями, так и с лазерными.

5) Описание существующих или возможных форм коммерциализации полученных результатов:

Несмотря на то, что коммерциализация проектом не предусмотрена, однако полученные результаты представляют коммерческий интерес как на внутреннем, так и на внешнем рынках. Для коммерциализации результатов планируется создание малого предприятия на базе СПбГПУ.

б) Описание видов новой и усовершенствованной продукции (услуги), которые могут быть созданы на основе полученных результатов интеллектуальной деятельности

На основе полученных результатов могут быть созданы промышленные автоматизированные системы контроля и управления технологическими процессами лазерной и лазерно-дуговой сварки, а также технологии лазерной и лазерно-дуговой сварки сталей и легких сплавов. Внедрение лазерно-дуговых технологий актуально для авиастроения, автомобилестроения, судостроения, транспортного и энергетического машиностроения и других отраслей промышленности. Ориентировочная стоимость разработанной системы мультисенсорного мониторинга и управления составляет 4 млн. рублей. Суммарный возможный спрос отечественной промышленности на подобные системы составляет около 30 систем.

4. Достижения молодых исследователей – участников Проекта

В проекте принимал участие молодой исследователь – студент Сасик А.В. При его непосредственном участии была разработана система слежения за швом на основе анализа видеоизображения. Полученные результаты использовались при создании адаптивной системы позиционирования. Студенткой Денисовой И.Г. исследовался процесс лазерно-дуговой сварки алюминиевых сплавов. Особое внимание было уделено влиянию технологических параметров процесса на качество сварного соединения. Полученные результаты использовались при разработке методики предотвращения образования дефектов в сварных швах при лазерно-дуговой сварке. Аспирант Кузнецов М.В. принимал участие в проведении технологических исследований процессов лазерно-дуговой сварки сталей больших толщин. С его помощью были разработаны технологические циклограммы, обеспечивающие получение бездефектных сварных швов. Аспирант Певзнер Б.Я. принимал участие в разработке системы управления технологическим процессом. Полученные результаты позволили разработать алгоритмы контроля и управления гибридными лазерно-дуговыми сварочными процессами соответствующие мировому уровню в области автоматизации технологических процессов. В проекте принимал участие молодой исследователь – инженер Сомонов В.В. При его непосредственном участии была разработана методика визуализации быстропротекающих процессов в зоне лазерно-дугового воздействия с помощью высокоскоростной видеосъемки. Разработанная методика использовалась для экспериментальной проверки разработанных теоретических положений. При непосредственном участии ведущего инженера Поздеевой Е.Ю. разрабатывалась динамическая модель сварочной ванны при лазерно-дуговой сварке с глубоким проплавлением. Полученные результаты, определяющие мировой уровень в области математического моделирования процессов лучевой сварки, использовались для установления корреляции между динамикой информационных сигналов и процессами формирования сварного шва, а также при формулировке технических

требований к сенсорам системы мониторинга. Результаты теоретических исследований процессов формирования плазменного факела при лазерно-дуговой сварке, полученные молодым исследователем - ассистентом Земляковым Е.В. соответствуют мировому уровню исследований в области физики низкотемпературной плазмы. Полученные результаты позволили установить связь между косвенными сигналами и параметрами процесса формирования сварного шва, и были использованы при разработке алгоритмов регистрации, обработки и анализа информационных сигналов из зоны лазерно-дугового воздействия.

5. Опыт закрепления молодых исследователей – участников Проекта в области науки, образования и высоких технологий

Три студента, принимавшие участие в реализации данного проекта, после защиты дипломных проектов приняты на работу на предприятия судостроительной и атомной отраслей промышленности (ОАО «Центр технологии судостроения и ремонта», НИИ ЭФА им. Д.В. Ефремова). Аспирант Кузнецов М.В. был направлен в целевую аспирантуру СПбГПУ. Также инженер Сомонов В.В. готовится к поступлению в аспирантуру СПбГПУ.

6. Перспективы развития исследований

1) Информация о том, насколько участие в ФЦП способствовало формированию новых исследовательских партнерств. Участвует ли НОЦ в проектах по 7-й рамочной Программе Евросоюза (с указанием названия проектов и перечня партнеров по ним).

Совместно с Технологическим университетом г. Тампере (Финляндия) коллектив НОЦ подал заявку на финансирование международного научно-исследовательского проекта «NANOCLAD - European Networking and Innovation Project on Laser Engineered Nanostructured Coatings - from Theoretical Investigations and Technology Development towards Industrial Exploitation» в рамках программы ERA.Net RUS.

2) Краткая информация о проектах НОЦ по аналогичной тематике.

В рамках ФЦП «**Научные и научно-педагогические кадры инновационной России**» на **2009-2013** годы коллективом НОЦ выполняются следующие проекты: «Проведение научных исследований научными группами под руководством докторов наук в области естественных и технических наук» по теме: «Исследование влияния динамики расплава на формирование поверхностных дефектов сварных швов»; «Проведение научных исследований коллективами научно-образовательных центров в интересах развития высокотехнологичных секторов экономики по теме: «Исследование устойчивости процесса кристаллизации и причин возникновения горячих трещин в металле шва при лазерной и гибридной лазерно-дуговой сварке»; «Проведение научных исследований целевыми аспирантами в области судостроения по теме «Разработка технологии лазерно-дуговой сварки корпусов маломерных судов из алюминийево-магниевого сплава серии 5000»».

Наряду с Лаппеенрантским университетом технологии, Университетом г. Турку и Манчестерским университетом, НОЦ «Лазерные технологии» СПбГПУ входит в консорциум исполнителей проекта «Оптимизация процесса лазерной сварки сталей высокомоощными волоконными лазерами с помощью экспериментальных исследований, математического моделирования и on-line мониторинга технологического процесса», поддержанного Академией Финляндии.

3) Информация о том, сотрудничество с какими странами и исследовательскими центрами может способствовать наибольшей отдаче для развития в России технологий в области исследования, а также для выхода российской продукции на региональные и глобальные рынки.

Традиционно в области технологических исследований и практического применения лазерных и гибридных лазерно-дуговых технологий обработки материалов лидирующие позиции занимают научные организации и промышленные предприятия Германии. В последнее время активно ведутся исследования лазерных и гибридных технологий с использованием мощных лазеров в Финляндии. Коллектив НОЦ «Лазерные технологии» СПбГПУ имеет налаженные научные и образовательные связи с ведущими научными центрами и образовательными

учреждениями этих стран: Баварский лазерный центр, Ганноверский лазерный центр, Институт материаловедения университета г. Ганновера, университет Эрланген-Нюрнберг, Институт сварки Рейн-Вестфальской технической высшей школы, Фраунгоферские институт лазерной техники и институт материалов и лучевой техники, Федеральный институт исследования и тестирования материалов г. Берлин, Технологические университеты г. Лаппеенранты и Тампере и др. Дальнейшее развитие научно-образовательного и научно-технического сотрудничества может способствовать развитию в России лазерных и лазерно-дуговых технологий обработки материалов, а также выходу российской продукции и технологий на внутренние и мировые рынки.

7. Охраноспособные результаты интеллектуальной деятельности (РИД), полученные в рамках исследования, разработки

№	Вид охраняемого РИД	Название	Вид охранного документа	№ документа/№заявки	Дата выдачи документа/дата подачи заявки	Страна патентования
1	ноу-хау	Технология гибридной сварки тонких материалов	Приказ о «ноу-хау»		01.04.2010г	РФ
2	ноу-хау	Способ лазерной сварки	Приказ о «ноу-хау»		01.04.2010г	РФ

8. Список публикаций в рамках проекта

№	Ф.И.О. участника проекта	Наименование публикации на русском языке	Наименование публикации и на языке оригинала (для иностранных публикаций)	Реквизиты издания, опубликовавшего работу	Статус журнала (список ВАК, другой)	Краткое описание связи содержания публикации с результатами проекта
1	Туричин Г.А., Цибульский И.А., Валдайцева Е.А., Лопота А.В.	Гибридная лазерно-дуговая сварка металлов больших толщин		Сварка и диагностика, 2009, № 3, С. 16-23.	Список ВАК	В статье проанализированы возможные области внедрения результатов проекта
2	Г.А. Туричин, И.А. Цибульский, Е.В. Земляков, В.В. Харламов	О системе мониторинга лазерно-дуговой сварки		Металлообработка / Оборудование и инструмент для профессионалов, №6, 2009, с. 46-48	Международный информационно-технический журнал	В статье описаны основные принципы мультисенсорного мониторинга сварочных процессов
3	Лопота А.В., Туричин Г.А.	Перспективы применения лазерных технологий в трубопроводном строительстве		Трубопроводный транспорт [теория и практика]», 2009, №13	Список ВАК	В статье показаны основные преимущества разработанных технологий и оборудования для решения задач трубной отрасли промышленности
4	Туричин Г.А., Цибульский И.А., Валдайцева	Теория и технология гибридной сварки металлов больших толщин		Мир сварки, № 2 (11) 2010, стр. 36-41	Специализированное научно-техническое	В статье описаны результаты теоретических и экспериментальных исследований, проводимых

	Е.А.				издание	в рамках проекта
5	Г.А. Туричин, И.А. Цибульский, М.В. Кузнецов, В.В. Сомонов, Е.А. Валдайцева	Исследование формирования пористости при лазерной и лазерно-дуговой сварке алюминиевых сплавов		Научно-технические ведомости СПбГПУ, № 4, 2010, стр. 175-181	Список ВАК	В статье приведены результаты экспериментальных исследований и компьютерного моделирования влияния технологических параметров на качество сварного соединения, в частности на порообразование
6	Г.А. Туричин, И.А. Цибульский, М.В. Кузнецов, В.В. Сомонов,	Гибридная лазерно-дуговая сварка металлов больших толщин		Научно-технические ведомости СПбГПУ, № 4, 2010, стр. 181-187	Список ВАК	В статье рассмотрены особенности формирования сварных швов при лазерно-дуговой сварке и проанализированы информационные сигналы, которые могут быть использованы для мониторинга технологических процессов лазерно-дуговой обработки
7	Кузнецов М.В.	Влияние параметров лазерно-дугового процесса на механические свойства сварных соединений при сварке металлов больших толщин		Мир гуманитарных наук, 2010, стр. 53-58	Периодическое издание научного характера	В статье приведены результаты исследований влияния параметров лазерно-дугового процесса на механические свойства сварных соединений

9. Диссертации, представленные к защите в рамках проекта

№	Ф.И.О. участника проекта	Наименование диссертации	Вид диссертации (кандидатская; докторская)	Наименование и шифр научной специальности	Номер диссертационного совета	Дата защиты диссертации (фактическая или плановая дата)	Краткое описание связи содержания диссертации с результатами проекта
1	Васильев Евгений Олегович	Закономерности взаимодействия теплового потока сжатой электрической дуги с технологическим объектом	Кандидатская	05.09.10 Электротехнология	Д.212.229.20	17.12.2009г.	В диссертации описаны используемые при выполнении проекта экспериментальные методы диагностики плазменного факела, формирующегося при дуговом, лазерном и лазерно-дуговом воздействии на материалы. Также в диссертации использовались результаты математического моделирования тепловых процессов в материале при лазерно-дуговом воздействии.
2	Шолкин	Разработка	Кандидатская	05.16.01	Д 212.229.03	16.12.2010г.	Для выявления

	Сергей Евгеньевич	технологии микроплазменного осаждения функциональных покрытий с элементами наноструктуры		Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов			характера влияния температурно- скоростных параметров процесса микроплазменного осаждения на основные физико- механические характеристики функциональных покрытий использовалось разработанное в рамках проекта математическое описание процесса формирования плазменной струи. При исследовании пористости покрытий использовалась математическая модель формирования и дальнейшего поведения пор (всплытие и кристаллизация), также разработанная в рамках данного проекта.
3	Чжао Фучэнь	Разработка технологий гибридной сварки CO ₂ - лазер+GMAW бейнитных сталей с ультранизким содержанием углерода	Кандидатская	05.02.10 Сварка, родственные процессы и технологии	Д.212.229.26	21.06.2011г.	Особое внимание в диссертации уделено изучению часто встречающихся дефектов таких как: поры, трещины, несплавления, а также анализу основных причин их образования, и путей их устранения.
4	Цибульский Игорь Александров ич	Технология и оборудование лазерно-дуговой сварки металлов больших толщин	Докторская	05.02.10 Сварка, родственные процессы и технологии	Д.212.229.26	Диссертация подготовлена к защите	В диссертации обобщены результаты теоретических и экспериментальны х исследований процессов, формирования сварных соединений при лазерно-дуговой сварки металлов больших толщин с использованием мощных волоконных лазеров.

10. Выступления на конференциях

№	Ф.И.О. участника проекта	Наименование доклада на русском языке	Наименование доклада на языке оригинала (для международных конференций)	Название конференции, дата и место проведения	Краткое описание связи содержания доклада с результатами проекта
1	Земляков Евгений Вячеславович	Основные принципы создания мультисенсорной системы мониторинга технологических процессов лазерной и гибридной лазерно-дуговой сварки	Basic principles of multisensor monitoring system creation for laser and hybrid laser-arc welding	6-я международная конференция «Лучевые технологии и применение лазеров», 23-25 сентября 2009 г., Санкт-Петербург	Доклад посвящен анализу информационных сигналов, которые могут быть использованы для контроля за протеканием технологического процесса, и формулировке основных принципов мультисенсорного мониторинга процессов лазерной и лазерно-дуговой сварки
2	Туричин Глеб Андреевич	Исследование и моделирование гибридной лазерно-дуговой сварки металлов больших толщин		XIV Всероссийская конференция «Фундаментальные исследования и инновации в национальных исследовательских университетах», Санкт-Петербург, 2010г.	В докладе представлены результаты исследований и моделирования гибридной лазерно-дуговой сварки металлов больших толщин.
3	Туричин Глеб Андреевич	Моделирование и технология гибридной сварки толстостенных стальных частей с помощью высокоомощных волоконных лазеров	Simulation and technology of hybrid welding of thick steel parts with high power fiber laser	WLT conference on Lasers in Manufacturing, Munich, Germany, May 23-26, 2011	В докладе представлены: описание разработанной динамической модели сварочной ванны при сварке с глубоким проплавлением, результаты технологических экспериментов, а также алгоритмы контроля и управления технологическими процессами лазерной и лазерно-дуговой сварки
4	Цибульский Игорь Александрович	Разработка технологии и оборудования для лазерной и лазерно-дуговой сварки алюминиевых сплавов	Development of technology and equipment for laser and laser-Arc welding of aluminum alloys	Laser technologies in welding and materials processing, May 24-27, Katsiveli, Ukraine	В статье описана созданная в рамках проекта экспериментальная установка для исследования технологического процесса лазерно-дуговой сварки и отработки алгоритмов контроля и управления.

