

## АННОТАЦИЯ ПО ПРОЕКТУ

**Государственный контракт №14.740.11.0819 от «01» декабря 2010г.**

**Тема:** «Исследование устойчивости процесса кристаллизации и причин возникновения горячих трещин в металле шва при лазерной и гибридной лазерно-дуговой сварке»

**Исполнитель:** федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет»

**Ключевые слова:** лазерно-дуговая сварка, судовые сварные конструкции, адаптация технологии, высокопрочные стали

### 1. Цель проекта

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

Разработка и внедрение высокоэффективных технологий сварки металлов больших толщин в производство ответственных сварных конструкций. Эти задачи особенно актуальны при сварке сложнолегированных двух- и трех фазных сталей, применяемых для строительства трубопроводов, корпусов судов, сосудов высокого давления и других ответственных конструкций

*2. Формулировка цели реализованного проекта, места и роли проекта и его результатов в решении задачи/проблемы, сформулированной в п. 1.1 (2-3 предложения).*

Разработка физико-технических основ технологий лазерной и гибридной лазерно-дуговой сварки высокопрочных сталей больших толщин с использованием мощных волоконных лазеров. Появление мощных волоконных лазеров сделало возможным реализацию целого ряда новых технологий лазерной и гибридной лазерно-дуговой сварки.

Однако при попытках реализации таких технологий исследователи столкнулись с нестабильным формированием сварного шва, приводящему к образованию специфических дефектов и снижению эксплуатационных характеристик сварного соединения. Недостаточная изученность физической картины процессов лазерной и гибридной лазерно-дуговой сварки металлов больших толщин с помощью мощных волоконных лазеров ограничивает потенциальные возможности лазерной и гибридной сварки и является сдерживающим фактором внедрения высокоэффективных технологий обработки материалов в промышленность.

### 2. Основные результаты проекта

*1) Краткое описание основных полученных результатов*

В ходе выполнения проекта были получены следующие научные и научно-технические результаты:

- Теория формирования дефектов в теле сварного шва при лазерно-дуговой сварке;
- Компьютерная модель процесса лазерной и лазерно-дуговой сварки высокопрочных сталей больших толщин;
- Методика прогнозирования возникновения горячих трещин;
- Пилотная технология гибридной лазерно-дуговой сварки высокопрочных сталей больших толщин.

Теория формирования горячих трещин при гибридной лазерно-дуговой сварке с глубоким проплавлением строилась на предположении о том, что основной их причиной являются автоколебания скорости кристаллизации, вызванные взаимным влиянием тепловых, диффузионных и гидродинамических процессов. В случае сильно вытянутых ванн расплава, характерных для лазерно-дуговой сварки с использованием мощных лазеров, автоколебания скорости кристаллизации приводят к формированию в центральной зоне сварного шва «долгоживущей» незакристаллизовавшейся области,

неспособность которой сопротивляться сварочным деформациям и приводит к возникновению горячих трещин. Совместное решение задач о тепломассопереносе в сварочной ванне с учетом влияния сварочных напряжений, ликвационных процессах и автоколебаниях скорости кристаллизации, позволяет определить условия формирования горячих трещин и усадочных раковин.

Методика прогнозирования возникновения горячих трещин основана на компьютерном моделировании процесса лазерной и лазерно-дуговой сварки высокопрочных сталей больших толщин и позволяет с помощью расчетных экспериментов определить диапазоны значений режимных параметров технологического процесса, обеспечивающие получение бездефектных сварных швов.

Для отработки технологии гибридной лазерно-дуговой создан экспериментальный стенд на базе волоконного лазера ЛС-15 мощностью 15кВт. Разработанная пилотная технология позволяет продемонстрировать технологические возможности лазерно-дуговой сварки сталей больших толщин для решения задач машиностроения.

## *2) Указание основных характеристик созданной научной продукции;*

Достоверность результатов моделирования, полученных с помощью разработанной компьютерной модели, а также методики прогнозирования возникновения горячих трещин в сварном шве составляет не менее 85 %.

Разработанная технология лазерно-дуговой сварки позволяет получать бездефектные типовые сварные соединения из высокопрочной судостроительной стали толщиной до 20 мм при скорости сварки более 2 м/мин. Прочностные характеристики сварных соединений отвечают требованиям судостроительной отрасли.

## *3) Описание новизны научных решений;*

Новизна научного исследования определяется самим объектом исследования – физические процессы, протекающие при воздействии мощного лазерного излучения на кристаллические материалы. Волоконные лазеры мощностью более 10 кВт являются уникальным оборудованием и в России представлены в единичных экземплярах. Исследование процессов взаимодействия лазерного излучения такой мощности с кристаллическими материалами является актуальной задачей и с фундаментальной и с прикладной точек зрения. Для разработки физико-технических основ технологий лазерной и гибридной лазерно-дуговой сварки высокопрочных сталей больших толщин с использованием мощных волоконных лазеров использовался комплексный подход, заключающийся в детальном теоретическом анализе протекающих процессов, компьютерном моделировании и экспериментальных исследованиях.

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

Актуальность задач разработки лазерных и гибридных технологий сварки больших толщин подтверждается реализацией целого ряда исследовательских программ, реализуемых в Европе, США, Японии и Китая, что свидетельствует о недостаточном для промышленного внедрения данных технологий уровне знаний. Совместное использование экспериментальных методов и средств компьютерного моделирования позволили определить ключевые факторы, влияющие на свариваемость высокопрочных сталей, а также значительно повысить эффективность разработки новых технологий лазерно-дуговой сварки высокопрочных сталей. Полученные результаты полностью соответствуют мировому уровню исследований, проводимых в данной области

### 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. В настоящее время полученные результаты внедрены в образовательные программы кафедры «Сварка и лазерные технологии» СПбГПУ.

Внедрение лазерно-дуговых технологий актуально для судостроения, трубной промышленности, транспортного и энергетического машиностроения 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 «Технология лазерно-дуговой сварки».

Для перевода полученных результатов в стадию практического применения подготовлен проект технического задания на выполнение опытно-технологических работ: «Исследования технологии гибридной лазерно-дуговой сварки угловых соединений судокорпусных конструкций. Отработка технологии гибридной лазерно-дуговой приварки профилей к полотнищам плоских корпусных конструкций».

#### 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.*

Применение лазерно-дуговых технологий значительно расширяет спектр используемых материалов и конструктивных решений, позволяя повысить эксплуатационные характеристики выпускаемых изделий.

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

Внедрение в производство лазерно-дуговых технологий позволяет повысить производительность и улучшить условия труда, снизить энерго- и материалоёмкости производства, повысить гибкость производства и уровень автоматизации производственных процессов, а также обеспечить экологическую безопасность.

#### 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 дальнейшее проведение ОТР и ОКР по заказу промышленных предприятий.

#### 6) *Описание видов новой и усовершенствованной продукции (услуги), которые могут быть созданы или уже созданы на основе полученных результатов интеллектуальной деятельности (РИД);*

На основе полученных результатов могут быть разработаны и внедрены в промышленность технологии и оборудование для лазерной и лазерно-дуговой сварки. Внедрение лазерно-дуговых

технологий актуально для авиастроения, автомобилестроения, судостроения, транспортного и энергетического машиностроения и других отраслей промышленности. На сегодняшний день в России лазерно-дуговые технологии наиболее востребованы судостроительной отраслью, стоящей на пороге технологического перевооружения. Внедрение инновационных технологий и современного оборудования в производственный цикл предприятий отрасли, является необходимым условием повышения конкурентоспособности выпускаемой продукции.

#### **4. Достижения молодых исследователей – участников Проекта**

В проекте принимал участие молодой исследователь – студентка Ласота И.Т. При ее непосредственном участии был разработан лабораторный стенд для проведения для проведения экспериментальных исследований лазерной, гибридной лазерно-дуговой сварки и автоматической дуговой сварки. Полученные результаты использовались при отработке технологии лазерной и лазерно-дуговой сварки высокопрочных сталей. Студент Шишов М.С. исследовал влияние сварочных материалов на свойства сварного соединения. Полученные результаты позволили определить оптимальный состав защитной газовой смеси, а также подобрать электродную проволоку для реализации гибридного процесса. 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. В проекте принимал участие молодой исследователь – аспирант 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 при разработке методики прогнозирования горячих трещин. 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 характер влияния плазменного факела на стабильность процесса формирования сварного шва.

#### **5. Опыт закрепления молодых исследователей – участников Проекта (этапа проекта) в области науки, образования и высоких технологий**

Три студента, принимавшие участие в реализации данного проекта, приняты на работу в ФГБОУ ВПО «СПбГПУ» на должности инженеров кафедры «Сварка и лазерные технологии». Инженер Сомонов В.В. поступил в аспирантуру СПбГПУ и успешно сдал кандидатские экзамены.

#### **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.*

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 высокомошными волоконными лазерами с помощью экспериментальных исследований, математического моделирования и on-line мониторинга технологического процесса», поддержанного Академией Финляндии.

*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 целевыми аспирантами в области судостроения по теме «Разработка технологии лазерно-дуговой сварки корпусов маломерных судов из алюминий-магниевого сплава серии 5000»».

Также коллектив НОЦ «Лазерные технологии» является ведущей научной школой в области лазерных технологий, поддержанной советом по грантам при президенте РФ, и проводит НИР по теме: «Исследование и разработка методов лазерного и гибридного синтеза металлических наноструктурированных покрытий».

*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. Сведения в табличном формате:**

Сведения о результатах интеллектуальной деятельности, полученных в ходе исполнения Государственного контракта	Приложение 1 к аннотации
Сведения о публикациях, выпущенных в ходе исполнения Государственного контракта	Приложение 2 к аннотации
Сведения о диссертациях, подготовленных в ходе исполнения Государственного контракта	Приложение 3 к аннотации
Сведения о выступлениях на конференциях,	Приложение 4 к аннотации

проведенных в ходе исполнения Государственного контракта	
Сведения о внедрении результатов проекта в образовательный процесс, полученных в ходе исполнения Государственного контракта	Приложение 5 к аннотации
Сведения об исполнителях Государственного контракта	Приложение 6 к аннотации

Руководитель работ по проекту

Зав. кафедрой «СиЛТ»



В.А. Лопота

Руководитель организации-исполнителя:

Проректор по научной работе



Д.Ю. Райчук

