

**АННОТАЦИЯ РАБОТ,  
ВЫПОЛНЕННЫХ НА ИТОГОВОМ ЭТАПЕ № 5**

«Исследование влияния динамики расплава на формирование поверхностных  
дефектов сварных швов»

государственного контракта с Министерством образования и науки Российской  
Федерации от «30» ноября 2010 г. № 16.740.11.0447.

Для удовлетворения требований современного производства сварочные технологии должны обеспечивать высокие производительность и качество сварного соединения. Высокую производительность по сравнению с традиционными дуговыми методами сварки обеспечивают технологии, основанные на использовании высококонцентрированных источников энергии – электронно-лучевые, лазерные и гибридные лазерно-дуговые технологии. Однако, попытки непосредственного увеличения скорости сварки за счет увеличения мощности лазерного излучения привели к формированию специфических дефектов (хампинга и подрезов).

Наличие таких дефектов ведет к не допустимому падению прочности сварного шва и является одним из основных препятствий на пути использования высокоскоростной сварки и поверхностной обработки материалов с помощью концентрированных потоков энергии. В данном случае мы имеем дело с достаточно редкой ситуацией, когда нерешенность фундаментальных вопросов является реальной причиной, приводящей к невозможности использования уже существующих технологических возможностей современного лазерного оборудования. Причины образования дефектов формирования шва связаны с особенностями тепловых и гидродинамических процессов в ванне расплава.

Известно, что процесс лазерной и лазерно-дуговой сварки не является стационарным даже при стабилизации всех режимных параметров и внешних воздействий на сварочную ванну. Неустойчивость сварочной ванны, развитие волн

на его поверхности и колебаний глубины связана с взаимодействием тепловых, гидро- и газодинамических процессов и развитием капиллярной неустойчивости.

Разработка алгоритмов стабилизации расплава в сварочной ванне и «бездефектных» технологий высокоскоростной лазерной и лазерно-дуговой сварки возможна только на основе результатов комплексных теоретических и экспериментальных исследований динамических процессов, протекающих в сварочной ванне при лазерной и лазерно-дуговой сварке.

На основе детального анализа и математического описания особенностей гидродинамических процессов, протекающих в ванне расплава, была разработана динамическая модель сварочной ванны при сварке без глубокого проплавления, учитывающая влияние поверхностных явлений и термо-капиллярного эффекта на формирование сварного шва. Анализ автоколебаний, развивающихся в сварочной ванне при сварке с использованием концентрированных потоков энергии, проводился на основе линейной теории устойчивости с учетом совместного развития тепловых, гидро- и газодинамических возмущений, релаксационных процессов.

Результаты моделирования позволили определить характерные спектры колебаний геометрических характеристик парогазового канала, а также давления паров и температуры его стенок. Полученная динамическая модель позволяет также исследовать поведение канала при изменении внешних воздействий, таком как модуляция мощности и фокусировки. В соответствии с данной моделью принципиально возможно уменьшить амплитуду колебаний канала путем подбора параметров режима сварки, но полностью подавить колебания физически невозможно.

Для определения характера влияния технологических параметров лазерной и лазерно-дуговой сварки на формирование поверхностных дефектов была проведена серия натуральных экспериментов. Эксперименты по высокоскоростной лазерной и лазерно-дуговой сварке проводились на экспериментальном стенде для лазерно-дуговой сварки, построенном на базе волоконного лазера мощностью 15 кВт. В качестве дугового источника использовался источник ВДУ-1500 DC (1500 А). В

качестве исследуемого материала использовались низкоуглеродистая сталь и алюминиевые сплавы.

Динамика сварочной ванны фиксировалась с использованием высокоскоростной видеосъемки и термографии. Также полученные экспериментальные образцы исследовались с помощью методов количественной металлографии, дюриметрии и микрозондового рентгеноспектрального анализа.

Полученные результаты позволили определить характер изменения гидродинамики расплава в сварочной ванне при увеличении скорости сварки. При этом было выделено пять характерных режимов формирования сварного шва для различных диапазонов скорости сварки. При низких скоростях сварки (до 5 м/мин) наличие волн на поверхности приводят к выплескам металла с задней стенки парогазового канала. При увеличении скорости сварки на поверхности расплава наблюдается формирование длинных волн. Дальнейшее увеличение скорости сварки приводит к удлинению парогазового канала на поверхности сварочной ванны, а также к формированию дополнительного потока расплава, направленного в сторону сварки. Столкновение основного и дополнительного потоков расплава приводит к разбрызгиванию металла по краям шва. При скоростях сварки 18 м/мин – 19 м/мин была отмечена склонность к формированию подрезов. При сварке со скоростями выше критического значения 20 м/мин наблюдалось формирование «хампинга». Вдоль оси сварочной ванны наблюдалось формирование узкой струи расплава, развитие неустойчивости Релея на поверхности которой и приводит к формированию «хампинга».

Таким образом, были определены пороговые значения скорости сварки, выше которых начинается формирование таких поверхностных дефектов, как подрезы и хампинг. Результаты теоретических исследований хорошо согласуются с наблюдаемой экспериментально картиной протекания физических процессов в активной зоне при высокоскоростной лазерной и лазерно-дуговой сварке.

Также было установлено, что механизм образования поверхностных дефектов в мелкой сварочной ванне определяется термокапиллярным эффектом. Поэтому наиболее перспективным способом стабилизации расплава в сварочной ванне при

высокоскоростной лазерной и лазерно-дуговой сварке является изменение поверхностного натяжения расплава. Результаты проведенных натурных экспериментов показали, что использование поверхностно-активных веществ позволяет повысить значение пороговой скорости сварки на 2-3 м/мин. Стабильность расплава в сварочной ванне также может быть достигнута с помощью внешнего воздействия на сварочную ванну. В качестве внешнего воздействия может использоваться модуляция и сканирование лазерного излучения и определенным образом синхронизированная по времени импульсная электрическая дуга.

Для обеспечения патентной чистоты результатов НИР были проведены патентные исследования.

В научно-исследовательской работе в рамках проекта участвовали студенты, аспиранты, молодые специалисты и преподаватели СПбГПУ. Результаты исследований, полученные в ходе выполнения проекта, использовались при подготовке дипломных проектов и диссертаций на соискание ученой степени кандидата и доктора технических наук.

Руководитель работ по проекту

Декан ФТИМ

 Г.А. Туричин

Руководитель организации-исполнителя:

Проректор по научной работе

 Д.Ю. Райчук

