

## **ДВУХЛУЧЕВАЯ ЛАЗЕРНАЯ СВАРКА**

*Иван Валерьевич Куликов*

*Студент 6 курса,*

*Кафедра «Лазерные технологии в машиностроении»*

*Московский Государственный Технический Университет имени Н. Э.*

*Баумана*

*Научный руководитель: Д. М. Мельников,*

*Кандидат технических наук, инженер кафедры МТ-12*

Лазерная сварка нашла применение в различных областях промышленности, а в последнее время на данную технологию обратила внимание отрасль трубостроения. Лазерные комплексы позволяют значительно расширить технологические возможности сварочных процессов, благодаря ряду преимуществ: возможность сварки на больших скоростях, кинжалность проплавления, малая зона термического влияния, отсутствие необходимости разделки кромок. Однако даже такой источник энергии не всегда может удовлетворить требованиям современной промышленности, т.к. он обладает рядом недостатков: высокие требования к зазору между свариваемыми кромками, возможность появления закалочных структур, приводящих к снижению пластических свойств, что выражается в низкой ударной вязкости и снижении прочности при знакопеременных нагрузках[3]. Поэтому все чаще находят применение гибридные технологии: лазерно-дуговая, лазерно-плазменная, двухлучевая лазерная.

Целью данной работы является оптимизация процесса двухлучевой лазерной сварки. Объединение лазерного источника нагрева с другими источниками позволяет нивелировать недостатки, присущие каждому из методов и расширить технологические возможности. Гибридные лазерные технологии позволяют снизить себестоимость сварки одного погонного метра шва, повысить качество сварки, увеличить производительность [1]. Реализация преимуществ достигается при регулировании взаимного положения тепловых источников при определенном соотношении мощностей источников нагрева. Лазерно-дуговая сварка имеет следующие преимущества перед лазерной сваркой [2]: снижение мощности лазерного излучения, снижение отражательной способности материала, обеспечение синергетического эффекта увеличения глубины проплавления, снижение требований к точности сборки заготовок, возможность широкого управления термическим циклом, однако эффективность процесса сварки резко снижается с увеличением толщины свариваемых изделий. К тому же возникает целый ряд проблем. Скорость охлаждения металла в корневой части шва гораздо выше, чем на поверхности, поэтому велика вероятность образования в корневой части закалочных структур, а также образуется неравномерная по толщине зона термического воздействия. Все это осложняет процесс сварки.

Все описанные выше проблемы удастся решить путем совмещения двух лазерных источников [5]. Эффективность процесса двухлучевой сварки меняется не

только от соотношения их мощностей, но также от взаимного расположения источников. Наиболее эффективно вертикальное расположение более мощного луча при наклоне менее мощного с различным положением их фокальных плоскостей (рисунок 1). При таком воздействии на металл, по сравнению со сваркой одним лучом, увеличивается объем жидкой ванны, происходит уменьшение жёсткости термического цикла. Наблюдается увеличение ширины корня шва, что снижает требования к сборке свариваемых кромок. Существенно уменьшается поглощение энергии лазерного излучения в плазменном факеле. Так расчетная оценка показала, что поглощенная энергия в приповерхностной плазме в случае сварки одним лучом мощностью 5 кВт составляет около 25 %, а двумя лучами мощностью 2,5 кВт, сведенными в одну точку, ее значения приближается к нулю. Экспериментальные исследования позволили установить повышение КПД процесса дуговой сварки на 30 % по сравнению с однолучевой той же мощности [6].

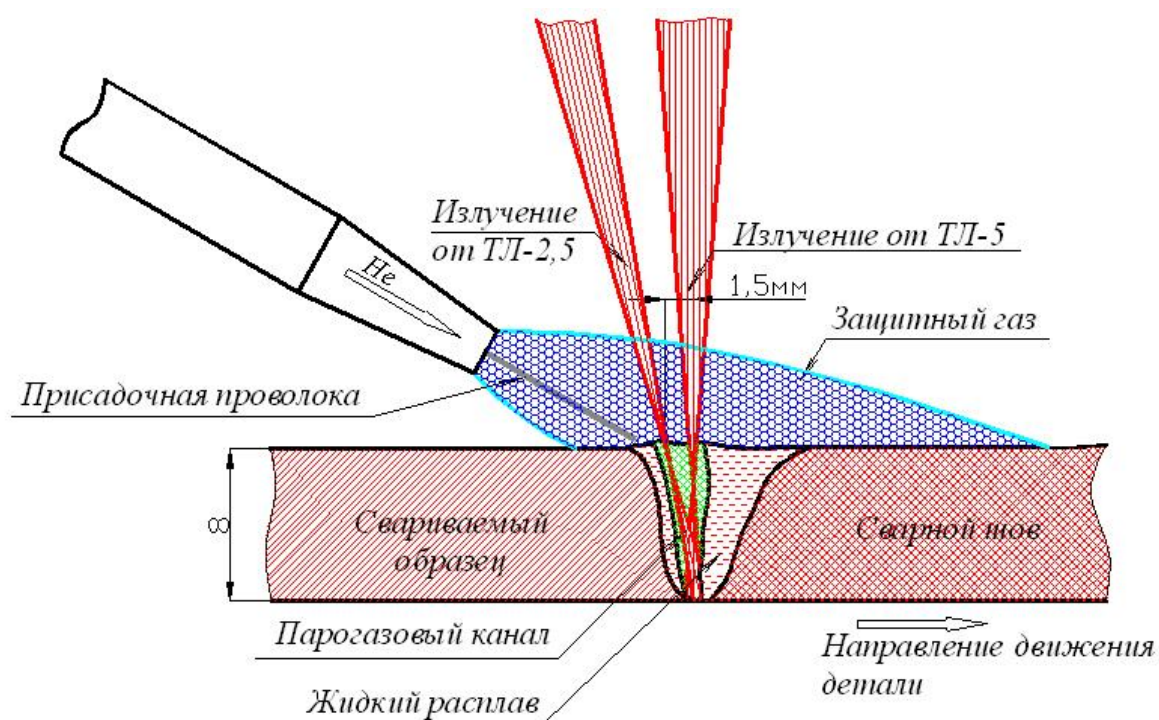


Рисунок 1 - Схема сварки двумя лучами

По математической модели, предложенной Грезевым Н. В. [4], были проведены расчеты распределения температуры в пластине при воздействии двумя лазерными источниками с учетом поглощения в приповерхностной плазме. Переменной величиной являлось расстояние между фокусными пятнами на поверхности стальной пластины. На рисунке 2 приведена зависимость глубины проплавления от скорости луча для различных расстояний между центрами фокусных пятен. Согласно расчетам, схема сварки двумя лучами 5+3 кВт в среде аргона более эффективна в сравнении с однолучевой лазерной сваркой мощностью 8 кВт (пунктирная линия), т.к. в первом случае в приповерхностной плазме теряется меньше лазерной мощности и, соответственно, до свариваемого изделия доходит большее количество энергии. Теоретически, самым эффективным энергетическим вложением, является схема подачи двух излучений в одну точку. Однако при этом происходит значительное повышение

температуры жидкой ванны расплава, сварочная ванна начинает кипеть, снижается качество сварного соединения, образуются поры и подрезы.

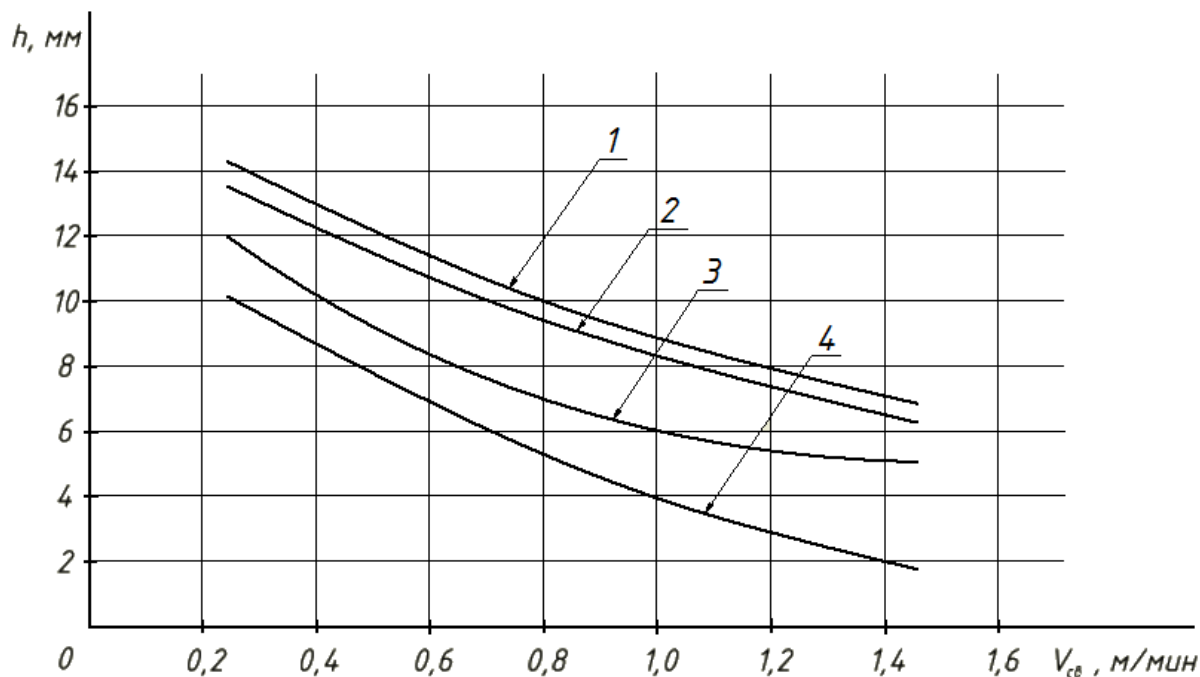


Рисунок 2 - Зависимость глубины проплавления от скорости луча для различных расстояний между центрами фокусных пятен для лазерных установок мощностью 5 и 3 кВт:

- 1 – для расстояния 1,5 мм
- 2 – для расстояния 2 мм
- 3 – для расстояния 3 мм
- 4 – для расстояния 0 мм

Двухлучевая лазерная сварка в сравнении с однолучевой имеет более мягкий режим нагрева и охлаждения металла, что благоприятно сказывается на структуре металла и его механических свойствах. В ходе исследований было установлено что скорость охлаждения металла при двухлучевой лазерной сварке в 1,5 раза ниже, чем при лазерной сварке (рисунок 3).

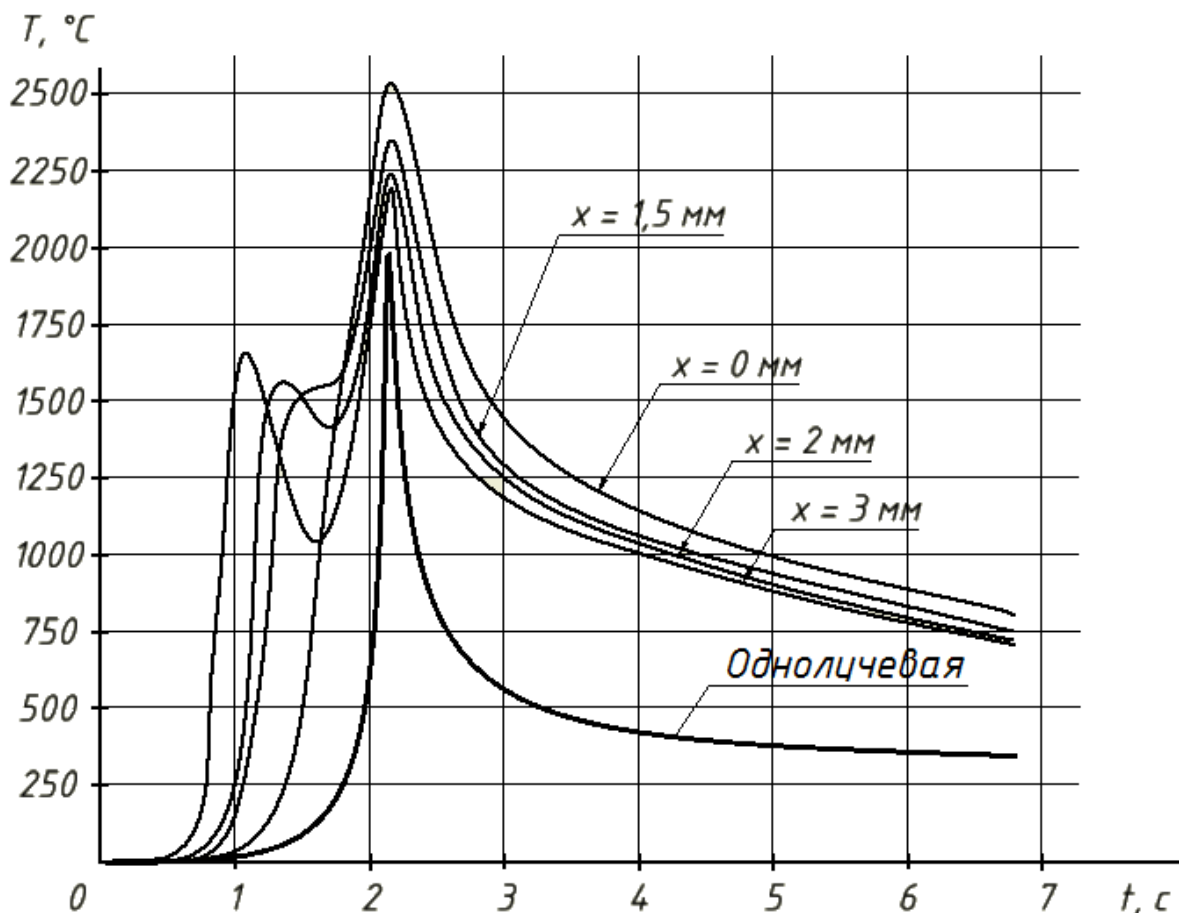
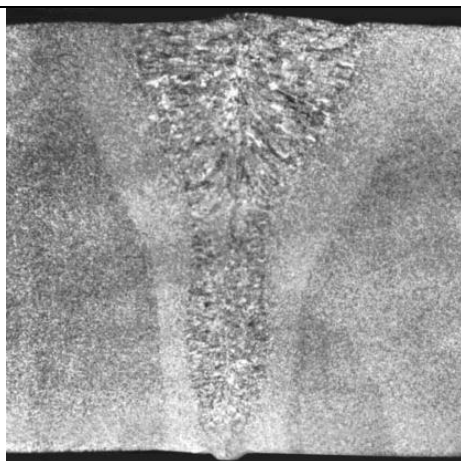


Рисунок 3 - Термические циклы нагрева и охлаждения металла при однолучевой лазерной сварке ( $P=8\text{кВт}$ ) и двухлучевой лазерной сварке ( $P=5+3\text{кВт}$ ),  $V_{\text{св}}=1\text{м/мин}$

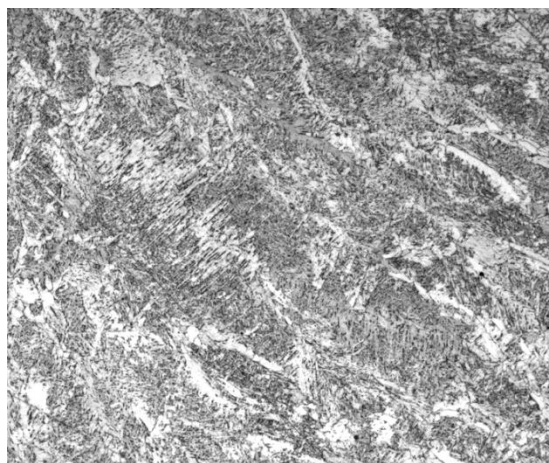
На скоростях свыше 1 м/мин в жидкой ванне сварочной каверны существуют два самостоятельных парогазовых канала, между которыми существует жидкая перемычка. При уменьшении скорости сварки, перемычка становится тоньше. На скоростях 0,6-0,5 м/мин жидкая перемычка полностью исчезает и происходит объединение двух парогазовых каналов. Сварка на таких режимах приводит к небольшому изменению формы сварного шва – увеличивается ширина центральной части. Этот эффект можно объяснить геометрической схемой подачи излучений – при объединении двух парогазовых каналов, первый луч, который подается под углом начинает активно подогревать заднюю стенку канала, что и приводит к увеличению зоны расплава.

Сравнительные исследования макро-и микроструктуры сварных швов полученных на низколегированных трубных перлитных и бейнитных сталях показали по сравнению с однолучевой сваркой отсутствие закалочных структур и снижение микротвердости в 1,5-2 раза. Например, для стали 08ГФБАА сварной шов имеет феррито-бейнитную мелкозернистую структуру с величиной зерна 11-12 балла, зона нормализации – 13-14 балла (рисунок 4). При двухлучевой сварке достигаются более высокие значения механической прочности по сравнению с однолучевой и дуговой сваркой. Проведенные испытания показали, что статическая прочность сварных соединений находится на уровне основного металла. Повышается ударная вязкость и прочность сварного соединения вплоть до температур минус 40°C.



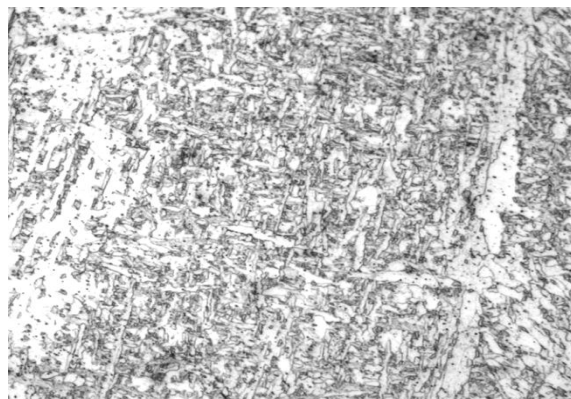
x8

а



x100

б



x500

5

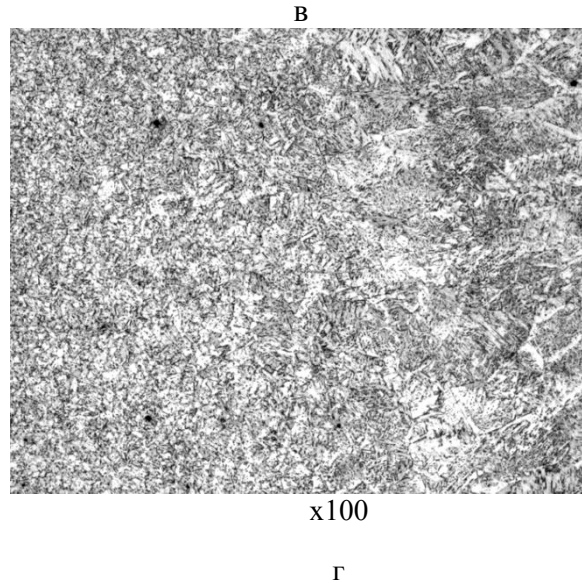


Рисунок 4 - Макроструктура (а) и микроструктура металла шва (б,в) и зоны термического влияния (г) стали 08ГФБАА толщиной 8 мм, выполненного двухлучевой лазерной сваркой при суммарной мощности лазера 8 кВт и скорости сварки 1м/мин

### Литература

1. Алексеев Г.М., Туричин Г.А., Мисюров А.И. и др. Перспективы применения светолазерных технологий. Автоматическая сварка, №5, 2005, с. 5-11.
2. Бибик О.Б., Бродягин В.Н., Покладов Ю.П. Особенности взаимодействия лазерного излучения и электрической сварочной дуги применительно к процессу комбинированной лазерно-дуговой сварки. Физика и химия обработки материалов. 1990, №2, с. 95-98.
3. Грезев А.Н. Разработка физико-технологических основ лазерной сварки конструкционных сталей мощными СО<sub>2</sub> лазерами, Шатура, 2006.
4. Грезев Н.В. Разработка и исследование способа комбинированной двухлучевой лазерной сварки труб газо-нефтяной промышленности: диссертация кандидата технических наук, Москва, 2006.
5. Григорьянц А.Г., Грезев А.Н., Грезев Н.В. Перспективы совмещения лазерных лучей для сварки изделий больших толщин. Технология машиностроения, №11, 2011. С. 37-39.
6. Григорьянц А.Г., Грезев А.Н., Родионов Н.Б. и др. Эффективность процесса двухлучевой лазерной сварки с глубоким проплавлением. Сварочное производство, №8, 2009. с. 20-27.