

УДК 621.791.725

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОСОБЕННОСТЕЙ ЛАЗЕРНОЙ СВАРКИ ТОНКОСТЕННЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ СТАЛИ**

Магистрант Кранцевич А.В.

*Научный руководитель – профессор Данилов В.А.*

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь

Сварка представляет собой процесс соединения разных металлов. Соединение формируется на межатомном уровне с помощью нагрева или механической деформации. Сварное соединение является одним из самых прочных. Использование новых видов металлов и быстро развивающегося производства приводит к возникновению проблемы низкой производительности и низкого качества соединений, выполненных посредством традиционных способов сварки. В настоящее время большой упор сделан на развитие инновационных видов сварки. Для решения возникших проблем целесообразно использовать такой способ сварки, как лазерная сварка (рисунок 1).

Основное преимущество лазерной сварки – ее разнообразие. Каждому виду работы можно подобрать соответствующее оборудование. В зависимости от типа поставленных задач и материалов, которые предстоит сваривать, можно подобрать наиболее оптимальные устройства. Так, например, соединение деталей маленькой и большой толщины необходимо осуществлять разными установками. Особенно эффективной данная технология оказывается в сварке тонкостенных металлов. Использование других методов влечет за собой ряд рисков, связанных с прожиганием материала, а также с появлением различных термических дефектов. Лазерная сварка позволяет избежать указанных проблем, однако для этого необходимо точно контролировать мощность излучения, скорость движения луча, а также фокусировку рабочего пятна.

Таким образом, в качестве объекта исследования выступает лазерная сварка тонкостенных металлов. Предметом исследования разработка технологии лазерной сварки, исключаящей деформации

металла в процессе сварки, а также определение научно-обоснованных и экспериментально подтверждённых режимов сварки для заданных условий.

Соединение тонкостенных деталей осуществляют на минимальной мощности. Если сваривание проводится в импульсном режиме, тогда повышают скважность импульса и сокращают его длительность. А в непрерывном режиме скорость движения лазера повышают [1].

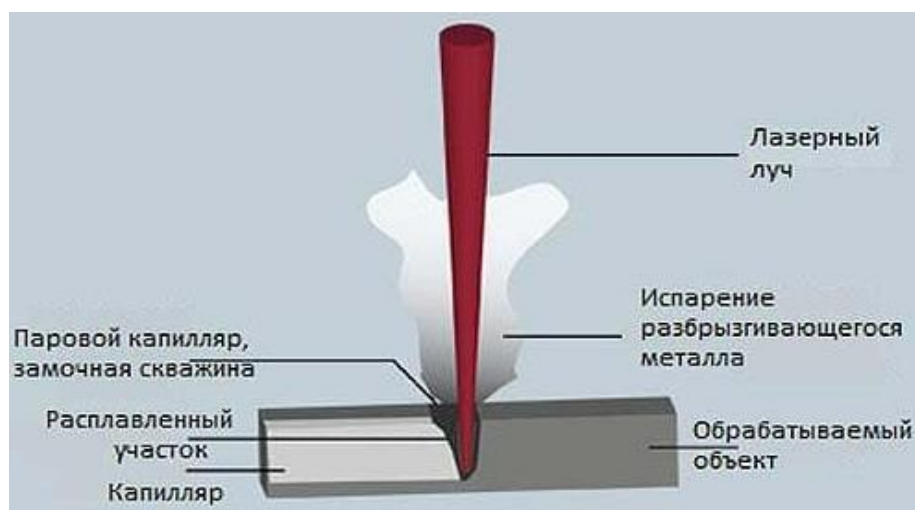


Рисунок 1 – Схема сварки лазерным пучком

Для технологического процесса лазерной сварки стыковых соединений характерными особенностями являются:

1. Для получения симметричного сварного шва необходимо, чтобы теплофизические свойства свариваемых материалов были сходственными, а фокусировка пятна нагрева была направлена на стык соединения.
2. При сварке встык, когда один из свариваемых металлов более тугоплавкий, используется схема, в которой пятно нагрева смещается в сторону более тугоплавкого металла. В результате происходит нагрев и плавление более тугоплавкого металла, а менее тугоплавкий металл плавится за счет теплоты, передаваемой его кромке от расплава.

3. Импульсная лазерная сварка стыковых соединений требует тщательной подгонки кромок свариваемых деталей. Необходимо обеспечить отсутствие скоса и повреждения кромок. В противном случае шов получится ослабленным (в результате отсутствия присадочного материала) либо при чрезмерно большом зазоре кромки оплавятся без образования общей сварочной ванны.
4. Количество энергии, поглощаемой металлом при лазерной сварке, зависит от состояния поверхности. Поглощение энергии возрастает с ухудшением обработки деталей. Это влияние существенно и должно учитываться при выборе режима сварки тонких деталей. Так, например, при сварке стыковых соединений их тонкостенного металла необходимо обеспечить одинаковую чистоту обработки кромок по всей длине шва, чтобы предупредить выплески или непровары.
5. Применение защитной атмосферы (аргона) способствует уменьшению количества и размеров микротрещин.
6. С увеличением температуры жидкого металла и площади его соприкосновения со сварочной атмосферой возрастает концентрация поглощенным им газов. В некоторых случаях это способствует образованию межкристаллитных микротрещин и повышению хрупкости металла шва.

Из перечисленных особенностей видно, что качество сварного соединения сильно зависит от физико-химических свойств свариваемых материалов, мощности лазерного излучения и скорости лазерной сварки, среды, используемого оборудования и т. п. Обычно основные параметры режимов сварки определяются нормативными документами и, как правило, имеются в технической документации к сварочному оборудованию. Корректировка параметров для оптимального режима сварки тонкостенных конструкций осуществляется методом подбора скорости лазерной сварки и мощности лазерного излучения с учетом физико-химических свойств свариваемых материалов, среды, используемого оборудования, приспособлений, сварочного и измерительного инструментов.

При изготовлении сварных конструкций получили широкое распространение низкоуглеродистые стали с содержанием до 0,25%С и низкоуглеродистые низколегированные стали, в которых

суммарное содержание легирующих элементов  $\leq 4,0\%$ , а содержание углерода  $0,25\%$ . Низкоуглеродистые и низколегированные стали обладают хорошей свариваемостью, и сварные соединения должны обеспечивать равнопрочность с основным металлом. Лазерная сварка стали обеспечивает высокие скорости охлаждения кристаллизующегося металла шва и ОШЗ при высоких температурах. Эти условия гарантируют минимальные размеры зерна. Обеспечивается равнопрочность шва с основным металлом при высоких значениях ударной вязкости и пластичности. При лазерной сварке термически упрочненных сталей вследствие жесткого термического цикла и малой протяженности зоны термического влияния не происходит разупрочнения на участке отпуска.

Рекомендуются высокопроизводительные режимы лазерной сварки на больших скоростях ( $v_{св} = 30...40$  мм/с), обеспечивающие повышенное сопротивление образованию горячих и холодных трещин, по сравнению с дуговой сваркой. Такие высокие показатели достигаются не только при сварке встык металла сравнительно небольшой толщины ( $\delta = 3...6$  мм). При лазерной сварке стали 17ГС толщиной  $15...20$  мм за один проход получена равнопрочность шва основному металлу при высоком значении ударной вязкости.

Среднеуглеродистые стали содержат  $0,26...0,45\%C$  и широко используются для изготовления сварных конструкций. Высокоуглеродистые стали включают в себя  $0,46...0,75\%C$ , суммарное содержание легирующих элементов в пределах  $2,5...10\%$ . Отличаются плохой свариваемостью, поэтому редко применяются в сварных конструкциях. Для сталей этого класса характерные особенности при сварке: образование закалочных структур в шве и зоне термического влияния, склонных к хрупким разрушениям, возможность возникновения холодных и горячих трещин в сварном соединении, пор в металле шва. Многолетний опыт изготовления сварных конструкций из этих материалов показывает, что для предупреждения этих явлений часто необходим подогрев при сварке и термическая обработка после сварки, усложняющие технологию.

Применение высококонцентрированного источника энергии – лазерного луча – позволяет успешно решать эти задачи. *Лазерная сварка стали* по сравнению с дуговой обеспечивает более высокую сопротивляемость металла шва образованию горячих трещин, в

особенности при больших скоростях сварки ( $v_{св} > 30$  мм/с). В большинстве случаев, когда при лазерной сварке происходит благоприятное изменение структуры, сопротивляемость сварного соединения образованию холодных трещин имеет высокие значения.

В сварных соединениях из углеродистых и легированных закаливающихся сталей образуется шов с литой структурой и химическим составом, как правило, отличным от основного металла. Механические свойства отдельных зон сварного соединения в целом могут изменяться для одного и того же металла в зависимости от исходной структуры, химического состава присадочной проволоки, режимов сварки и последующей термообработки. В случае сварки стали в состоянии отжига минимальный предел прочности сварного соединения определяется прочностью основного металла, при сварке предварительно упрочненной закалкой стали – прочностью зоны отпуска, а при сварке стали с последующей упрочняющей термообработкой сварных соединений – прочностью металла шва.

Лазерная сварка стали обеспечивает повышенные механические свойства сварных соединений. Отличительной особенностью является минимальное разупрочнение в ОШЗ термоупрочненных сталей. В частности, предел прочности сварных соединений из термоупрочненных сталей 12Х2Н4А, 18ХГТ, выполненных лазером, на 12... 15 % выше, чем при дуговой сварке.

Высокая прочность соединений, полученных лазерной сваркой термоупрочненных сталей, также связана с эффектом упрочнения «мягкой прослойки». Контактное упрочнение последней наиболее вероятно при деформировании сварных соединений, выполненных лазером. В этом случае мягкая отожжённая зона, имеющая минимальный размер по сравнению с дуговой сваркой, упрочняется в процессе деформирования и разрушение происходит по основному неразупрочненному металлу соединения.

Ударная вязкость сварных соединений стали 12Х2Н4А в зоне шва, на линии оплавления и в зоне закалки при лазерной сварке стали существенно выше, чем при дуговой, и даже превышает ударную вязкость основного металла. Ударная вязкость лазерных и дуговых сварных соединений в зоне отпуска приблизительно

одинакова. Высокий уровень ударной вязкости и пластических свойств сварных соединений, выполненных лазером, в основном определяется значительным измельчением вторичной структуры металла шва и ОШЗ, но может быть также связан с металлургической очисткой и дегазацией переплавленного металла.

Высоколегированные стали содержат более 10% легирующих элементов. Широко распространены в сварных конструкциях аустенитные высоколегированные стали и сплавы, в которых содержание основных легирующих элементов – хрома и никеля обычно <18% и 10% соответственно, а общее содержание легирующих элементов может достигать 55%. Главной особенностью сварки этих сталей является склонность к образованию в шве и ОШЗ горячих трещин, связанных, в основном, с формированием крупнозернистой структуры. Важнейшие мероприятия, повышающие сопротивляемость стали этого типа образованию горячих трещин, следующие:

- применение методов сварки, способствующих измельчению кристаллов и устранению столбчатой структуры;
- получение в структуре швов некоторого количества  $\delta$ -феррита;
- снижение содержания примесей в швах, образующих легко плавкие эвтектики.

Применение лазерной сварки во многих случаях позволяет реализовать указанные условия и исключить горячие трещины. При лазерной сварке стали 12X18H10T структура шва характеризуется мелкодисперсностью, фазовый состав сварного шва содержит 10... 20%  $\delta$ -феррита в отличие от основного металла и в составе шва содержится пониженное количество вредных примесей. Прочность сварных соединений из этой стали находится на уровне основного металла, а пластичность несколько выше вследствие пониженного содержания неметаллических включений.

Для изготовления ответственных сварных конструкций широкое применение находят мартенситно-старяющие коррозионно-стойкие стали. Высокая прочность в сочетании с хорошими пластичностью и вязкостью в этих сталях достигается при формировании высоколегированной низкоуглеродистой мартенситной матрицы, обладающей большой пластичностью, и последующем упрочнении этой матрицы в процессе дисперсионного твердения-старения.

Сварные соединения из этих сталей, выполненные дуговой сваркой, склонны к коррозионному растрескиванию и межкристаллитной коррозии в атмосферных условиях вследствие совпадения области действия растягивающих остаточных напряжений с участками выпадения карбидов хрома по границам зерен в виде сетки и вторичного твердения металла в зоне термического влияния. Особенностью сварки мартенситно-стареющих сталей является также склонность к образованию холодных трещин. Важным обстоятельством является то, что лазерная сварка повышает сопротивляемость сварных соединений из этих сталей образованию холодных трещин в сопоставлении с дуговой сваркой. Сварные соединения из мартенситно-стареющих сталей, полученные лазерной сваркой, обладают более высокими механическими свойствами по сравнению с соединениями, выполненными дуговой сваркой.

Характерные режимы непрерывной лазерной сварки некоторых сталей обеспечивают сочетание высококачественного формирования шва, хорошей технологической прочности и высоких механических свойств сварного соединения, приведены в таблице 1 [2]. Оптимальные режимы сварки сталей обеспечиваются сравнительно высокими (от 80 до 120 м/ч) скоростями сварки. При этом мощность лазерного излучения может быть ориентировочно подобрана из условия 1 кВт на 1 мм толщины ( $h$ ) свариваемой детали. Представленные в таблице 1 режимы сварки даны для стыковых сварных соединений, но в первом приближении их можно использовать также для угловых, тавровых, прорезных и других видов соединений.

Таблица 1. Характерные режимы, на которых ведется непрерывная лазерная сварка стали

Стали	$h$ , мм	$P$ , кВт	$v_{св}$ , мм/с	$F$ , см	$\Delta F$ , мм
Малоуглеродистые, низколегированные (Ст3, 17ГС)	3,0	3,1	110	12	1.5
	2,0	2,8	100	12	1.5
Среднеуглеродистые, легированные (Ст35, 30ХГСА)	3,0	3,2	100	12	1,5
	3,0	3,3	110	16	1.0

Высоколегированные, аустенитные (12X18H10T)	5,0	5,0	75	15	1,0
	2,0	2,5	100	16	1,0
Высоколегированные, мартенситно-старяющие (08X15H5Д2Т)	3,0	3,5	80	50	1.5

Условные обозначения:  $P$  – мощность луча;  $F$  – фокусное расстояние;  $\Delta F$  – заглублиение фокуса.

### *Литература*

1. Лукашенко, А.Г. Оптимальный метод определения параметров режима лазерной сварки тонкостенных конструкций / А.Г. Лукашенко, Д.А. Лукашенко, И.А. Зубко, Р.Е. Юпин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2011. – №6/5 (54). – С 48-51.
2. WELDZONE [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://weldzone.info/technology/materials/49-carbonic/858-lazernaya-svarka-stali>.