

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ И ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА РАЗМЕРНЫЕ ПАРАМЕТРЫ СВАРОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ

Основными параметрами, учитываемыми при оценке качества соединений при лазерной наплавке, являются геометрические размеры наплавки, прочность соединения, наличие внутренних и внешних дефектов, химический состав, структура металла наплавки и околошовной зоны [1].

При выборе термического режима при импульсной лазерной наплавке необходимо учитывать то обстоятельство, что в ходе обработки происходит испарение металла с поверхности, и в результате импульса отдачи паров происходит резкий прогиб поверхности расплава с последующим вытеснением (выплеском) металла из сварочной ванны [2]. Это препятствует получению плотных, беспористых швов и обеспечению их геометрических размеров.

Поэтому, для каждого металла и различных размеров присадочного материала существуют оптимальная форма и диапазон энергий и длительностей импульсов, в пределах которых наплавка получается бездефектная наплавка с минимальным количеством испарения поверхности [3].

На рисунке 1 представлены образцы наплавки, которые получены с использованием импульсов лазерного излучения различных по энергии при фиксированных значениях диаметра пятна d и длительности импульса τ ($d = 0,5 \cdot 10^{-3}$ м, $\tau = 4 \cdot 10^{-3}$ с) на поверхность образцов из этой же стали в среде аргона.

Наплавка присадочного материала (сталь 30ХГСН2А) в виде проволоки диаметром $0,5 \cdot 10^{-3}$ м проводилась под действием импульсов треугольной формы с убывающим задним фронтом.

Диапазон значений плотности энергии в импульсе выбирался таким образом, чтобы плавление присадочного материала происходило в условиях плавления материала основы до глубины, равной или большей, половины радиуса наплавляемой присадки. На рисунках 1,а и 1,б представлен внешний вид застывшего металла при плавлении присадки и основы, которые сформированы под воздействием лазерного излучения с энергией в импульсе 12,5 Дж.

На рисунке 1, а наплавка выполнялась при воздействии одиночного импульса. В этих условиях наблюдается выплеск металла из зоны воздействия лазерного пучка, сопровождающийся прогибом поверхности сварочной ванны. При выполнении наплавки с применением серии таких же импульсов в металле сварочного соединения возникают дефекты в виде пор, а область расплава характеризуется неоднородным распределением геометрических размеров валика наплавки (рисунок 1, б).

При уменьшении энергии лазерного излучения до 3 Дж наблюдалось незначительное оплавление основы и частичное плавление присадки. Только при воздействии одиночного импульса с энергией излучения $E = (6,5 \div 7)$ Дж в зоне плавления не наблюдалось выплеска металла (рисунок 1, в), и поверхность наплавки имела выпуклую сферическую форму. При выполнении наплавки серией таких же импульсов в металле сварочного шва отсутствовали дефекты и не проплавленные участки (рисунок 1, г). Анализ данных исследований показал, что эффективность процесса наплавки, а также степень дефектности и однородности структуры наплавляемого металла во многом зависят от размерных параметров наплавки, которые определяются плотностью мощности лазерного излучения. Такими параметрами при импульсной лазерной наплавке являются глубина плавления основы и коэффициент формы валика наплавки [4]:

$$K=B/H,$$

где B – ширина валика наплавки; H – высота валика наплавки.

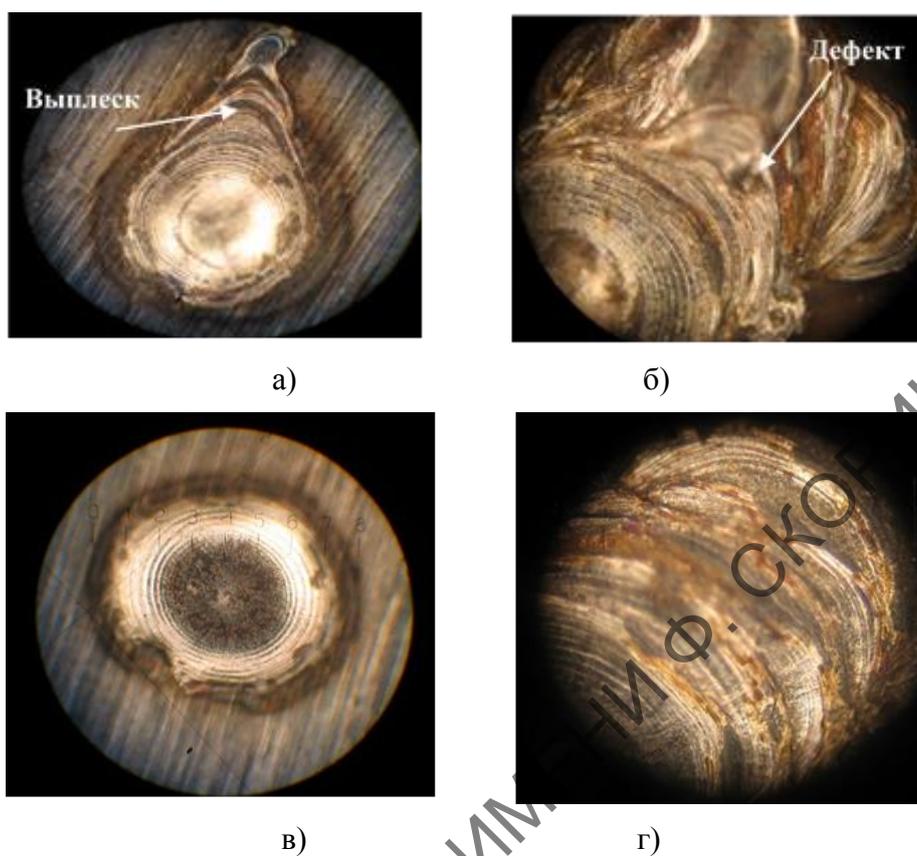


Рисунок 1 – Внешний вид зоны воздействия импульсного лазерного излучения при плавлении присадки на поверхности образца из стали 30 ХГСН2А (50^х): а) – одиночный импульс, $E = 14,5$ Дж; б) – серия импульсов, $E = 14,5$ Дж; в) – одиночный импульс, $E = 7$ Дж; г) – серия импульсов, $E = 7$ Дж

Известно, что при реализации высокоэффективных технологических процессов наплавки компактных присадочных материалов [5], значения коэффициента формы валика наплавки должны быть в пределах от 0,4 до 0,9. Глубина плавления основы, как было отмечено ранее, не должна быть меньше $\frac{1}{2}$ радиуса присадочного материала в виде проволоки. О максимальном значении глубины плавления, при превышении которого наблюдается снижение эффективности и качества наплавки, сведения в научно-технической литературе отсутствуют.

В силу этого обстоятельства в настоящей работе были проведены экспериментальные исследования по определению зависимости коэффициента формы валика наплавки, а также глубины плавления основы от энергии и длительности импульсов лазерного излучения. В ходе исследований необходимо было установить оптимальный для наплавки диапазон значений коэффициента формы валика и глубины плавления основы, при которых обеспечивается эффективная и качественная наплавка.

Наплавка присадочных материалов (проволока диаметром $0,5 \cdot 10^{-3}$ м) из легированных сталей 30ХГСА и 30ХГСН2А проводилась на поверхности образцов, изготовленных из этих же сплавов. Расплав формировался под воздействием одиночного импульса лазерного излучения в среде аргона (расход газа 3–4 л/мин). Экспериментальные исследования проводились на основе исходных данных, полученных в ходе теоретических рас-

четов зависимости глубины плавления основы от энергии и длительности импульсов лазерного излучения, приведенных в третьем разделе настоящей работы. При выборе диаметра сфокусированного пятна лазерного излучения учитывалось соотношение между необходимой площадью нагрева и плотностью мощности, требуемой для получения заданной глубины плавления без выплеска металла в зоне обработки. Результаты данных экспериментальных исследований представлены в таблице 1 и на рисунке 2.

Таблица 1 – Величина коэффициента формы валика наплавки для сталей 30ХГСА, 30ХГСН2А в зависимости от энергии и значений длительности импульсов лазерного излучения $\tau = 4, 6, 8, 10 \cdot 10^{-3}$ с

Энергия импульса, Дж	Коэффициент формы валика наплавки для τ .							
	$4 \cdot 10^{-3}$ с		$6 \cdot 10^{-3}$ с		$8 \cdot 10^{-3}$ с		$10 \cdot 10^{-3}$ с	
	30ХГСА	30ХГСН2А	30ХГСА	30ХГСН2А	30ХГСА	30ХГСН2А	30ХГСА	30ХГСН2А
4	0,75	0,77	*	*	*	*	*	*
6	0,70	0,73	0,72	0,74	*	*	*	*
8	0,63	0,60	0,68	0,70	0,65	0,70	*	*
10	0,40	0,38	0,56	0,61	0,57	0,62	*	*
12	**	**	0,50	0,55	0,49	0,45	0,45	0,53
14	**	**	0,41	0,43	0,40	0,42	0,39	0,40

* Глубина плавления меньше половины радиуса присадки;
 ** Глубина плавления больше $\frac{1}{2}$ диаметра присадки.

Анализируя полученные результаты, видим, что значения коэффициента формы валика наплавки для стали 30ХГСА не существенно отличаются от значений, характерных для стали 30ХГСН2А. Основными параметрами, обуславливающими изменение величины коэффициента формы валика наплавки, являются энергия импульса лазерного излучения и его длительность.

При изменении энергии импульсов лазерного излучения от 4 до 14 Дж и длительности от $4 \cdot 10^{-3}$ с до $10 \cdot 10^{-3}$ с значения коэффициента формы валика наплавки изменяются от 0,77 до 0,38. При определенных соотношениях между длительностью и энергией импульса лазерного излучения, например, при $E = 6$ Дж и $\tau = 6 \cdot 10^{-3}$ с глубина плавления основы меньше половины радиуса присадки. Выполнение наплавки в соответствии с данными технологическими режимами приводит к тому, что в наносимых покрытиях наблюдаются непровары между основой и присадкой, расположенные по краю наплавленного металла. Для значения энергии импульса излучения больше $E = 10$ Дж и длительности равной $4 \cdot 10^{-3}$ с, в зоне наплавки происходит выплеск металла. При этом коэффициент формы наплавки меньше 0,38, а глубина плавления основы составляет $(2,5-2,7) \cdot 10^{-4}$ м.

Из этих данных следует, что максимальная глубина плавления основы не должна быть больше $\frac{1}{2}$ диаметра присадочного материала ($2,5 \cdot 10^{-4}$ м). Превышение данной величины обуславливает снижение коэффициента формы наплавки до значений меньших 0,4 и выплеск жидкого металла из зоны воздействия лазерного излучения.

На основании анализа полученных результатов можно предположить, что для получения эффективной и качественной наплавки с использованием присадки диаметром $0,5 \cdot 10^{-3}$ м необходимо задавать параметры лазерного излучения таким образом, чтобы глубина плавления основы была не меньше половины радиуса присадки и не превышала величины $\frac{1}{2}$ её диаметра.

При наплавке высокопрочных легированных сталей увеличение длительности импульса лазерного излучения сопровождается уменьшением плотности энергии и, как следствие, уменьшением глубины плавления. Поэтому для достижения глубины плавления основы, соответствующей диапазону оптимальных значений, и с целью обеспечения надлежащей прочности соединения и качества наплавки необходимо, увеличивая длительность лазерного импульса, увеличивать его энергию. Как видно из рисунка 2, для

плавления до глубины $2,4 \cdot 10^{-4}$ м с использованием присадки диаметром $0,5 \cdot 10^{-3}$ м при увеличении длительности импульса до $6 \cdot 10^{-3}$ с необходимо повысить энергию до 10 Дж.

Экспериментально полученные зависимости глубины плавления основы от энергии и длительности импульсов лазерного излучения и данные, представленные в таблице 1, позволили определить предельно допустимые энергетические и временные параметры лазерного излучения (заштрихованные области на рисунке 2), при которых обеспечивается эффективное и качественное нанесение покрытий на поверхность образцов из стали 30ХГСА и 30ХГСН2А присадочным материалом диаметром $0,5 \cdot 10^{-3}$ м.

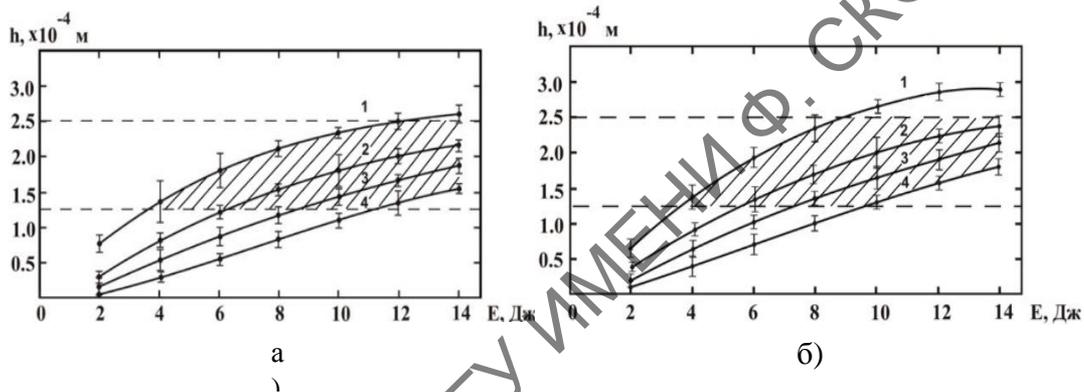


Рисунок 2 – Зависимость глубины плавления основы от энергии лазерного излучения:
 1, 2, 3, 4 – при длительности импульса $4 \cdot 10^{-3}$ с, $6 \cdot 10^{-3}$ с, $8 \cdot 10^{-3}$ с, $10 \cdot 10^{-3}$ с,
 соответственно а) – сталь 30ХГСА; б) – сталь 30ХГСН2А
 1 – $\tau = 4 \cdot 10^{-3}$ с; 2 – $\tau = 6 \cdot 10^{-3}$ с; 3 – $\tau = 8 \cdot 10^{-3}$ с; 4 – $\tau = 10 \cdot 10^{-3}$ с

Список использованных источников

- 1 Воздействие концентрированных потоков энергии на материалы: сб. науч. тр.; ред. Н. Н. Рыкалин. – Москва : Наука, 1985. – 256 с.
- 2 Левин, Ю. Ю. Расчет параметров импульсной лазерной сварки алюминиевых сплавов малой толщины / Ю. Ю. Левин, В. А. Ерофеев. // Сварочное производство. – 2008. – № 4. – С. 20–24.
- 3 Григорьянц, А. Г. Основы лазерной обработки материалов / А. Г. Григорьянц. – Москва : Машиностроение, 1989. – 304 с.
- 4 Петров, Г. Л. Теория сварочных процессов / Г. Л. Петров, А. С. Тумарев. – Москва : Машиностроение, 1987. – 462 с.
- 5 Грезев, А. Н. Трещинообразование сплавов, наплавление с помощью лазера / А. Н. Грезев, А. Н. Сафонов // Сварочное производство. – 1986. – № 3. – С. 6–8.