

МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ
METALLURGY AND MATERIALS

Бахматов П. В., Плетнев Н. О.
P. V. Bakhmatov, N. O. Pletnev

**ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ЛАЗЕРНОЙ СВАРКИ ТОНКОСТЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ
НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ НЕРЖАВЕЮЩИХ
СТАЛЕЙ**

**INFLUENCE OF MODES OF LASER WELDING OF THIN-WALLED STRUCTURES
ON THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF WELDED JOINTS OF STAINLESS STEEL
STEELS'**

Бахматов Павел Вячеславович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой машиностроения и металлургии Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, Хабаровский край, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27. E-mail: mim@knastu.ru.

Mr. Pavel V. Bakhmatov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of department of the Machine-Building and Metallurgy Department of the Komsomolsk-on-Amur State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur); 681013, Khabarovsk territory, Komsomolsk-on-Amur, 27 Lenin str. E-mail: mim@knastu.ru.

Плетнев Никита Олегович – доцент кафедры машиностроения и металлургии Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, Хабаровский край, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27.

Mr. Nikita O. Pletnev – associate Professor, Department of mechanical engineering and metallurgy, Komsomolsk-on-Amur State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur); 681013, Khabarovsk territory, Komsomolsk-on-Amur, 27 Lenin str.

Аннотация. В статье определено влияние формы и параметров единичного импульса на геометрию сварной точки на образцах стали марки 12X18H10T на установке для лазерной сварки BULAT LRS 300. Проведены исследования макро- и микроструктуры сварных соединений, полученных лазерной сваркой; приведены результаты исследований механических свойств сварных соединений.

Summary. The article defines the influence of the shape and parameters of a single pulse on the geometry of the welded point on the samples of steel grade 12X18H10T on the installation for laser welding BULAT LRS 300. Studies of macro- and microstructure of welded joints obtained by laser welding have been carried out; the results of studies of mechanical properties of welded joints are presented.

Ключевые слова: лазерная импульсная сварка, структура и свойства сварного шва, режимы сварки, форма импульса, размеры сварной точки.

Key words: laser pulse welding, structure and properties of the weld, welding modes, pulse shape, spot size.

УДК 621.791.725

Введение

С каждым годом набирает тенденцию использование лазерных технологий. Прогрессирующая миниатюризация сварных швов и пропилов особенно востребована при производстве медицинских товаров, мелких деталей автомобильной и электронной техники.

Диапазон лазерного оборудования с непрерывным лучом выхода теперь простирается от компактных приборов мощностью чуть более киловатта до систем мощностью 30 кВт. Подобные установки также доступны для импульсных лазерных систем. Поскольку лазеры на диоксиде углерода больше используются для резки, есть тенденция для сварки применять твердотельные волоконные лазеры. Гибкие системы наведения предполагают серьезные преимущества для программирования сварных швов, и даже программирование трёхмерной сварки теперь стало относительно несложным.

В смысле сварочных технологий не только сложные или крупные детали могут быть проблемой для производителя. Мелкие компоненты особенно трудны для сварки. Поэтому для очень

тонких сварных швов могут использоваться импульсные лазеры, при воздействии которых зоны, подвергаемые воздействию высоких температур, могут быть чрезвычайно малы. Это означает, что можно сваривать заготовки толщиной всего в 50 μm , но только если сварочные края будут оптимизированы и не будет никакого зазора. Лазеру практически нет альтернативы при подготовке кромок, так как с его помощью можно задавать правильные параметры оборудованию и процессу резки, как при точечной сварке. Высокие качества лазера могут использоваться для производства заготовок с нуля.

Технологии быстрого прототипирования позволяют создавать структуры тоньше 100 μm , которые могут использоваться в производстве лекарств, а также для заточки или штамповки инструментов. Кроме того, с их помощью можно в процессе ремонтной сварки для улучшения износостойкости сплава включать твёрдые частицы в его поверхностные слои.

Наряду с повышенной продуктивностью лазера всё большее значение сегодня придают обеспечению безопасности при работе с ним. Разработаны меры активной и пассивной защиты от радиации. Кроме того, предусмотрено отсутствие вредных выбросов, дыма и частиц. Это предъявляет гораздо более высокие требования к системам выхлопа, чем бывает при резных и сварочных работах без использования лазерного оборудования. Поэтому определение влияния режимов лазерной сварки на изменение структуры металла шва, а также влияния на механические свойства является приоритетной задачей в современном сварочном производстве.

Понимание процессов, протекающих в сварочной ванне при импульсном лазерном воздействии, позволит упростить разработку технологических процессов.

Методика экспериментального исследования

Известно [1], что наибольшее влияние на геометрию сварной точки (глубину проплавления и ширину) при лазерной сварке оказывает форма лазерного импульса, а для данной модели лазерного устройства данных по её влиянию нет, тогда авторами была разработана методика нанесения «отпечатка импульса на поверхность металла» с применением оргстекла, приставленного к стальной пластине, а луч направлялся в соединение (см. рис. 1).

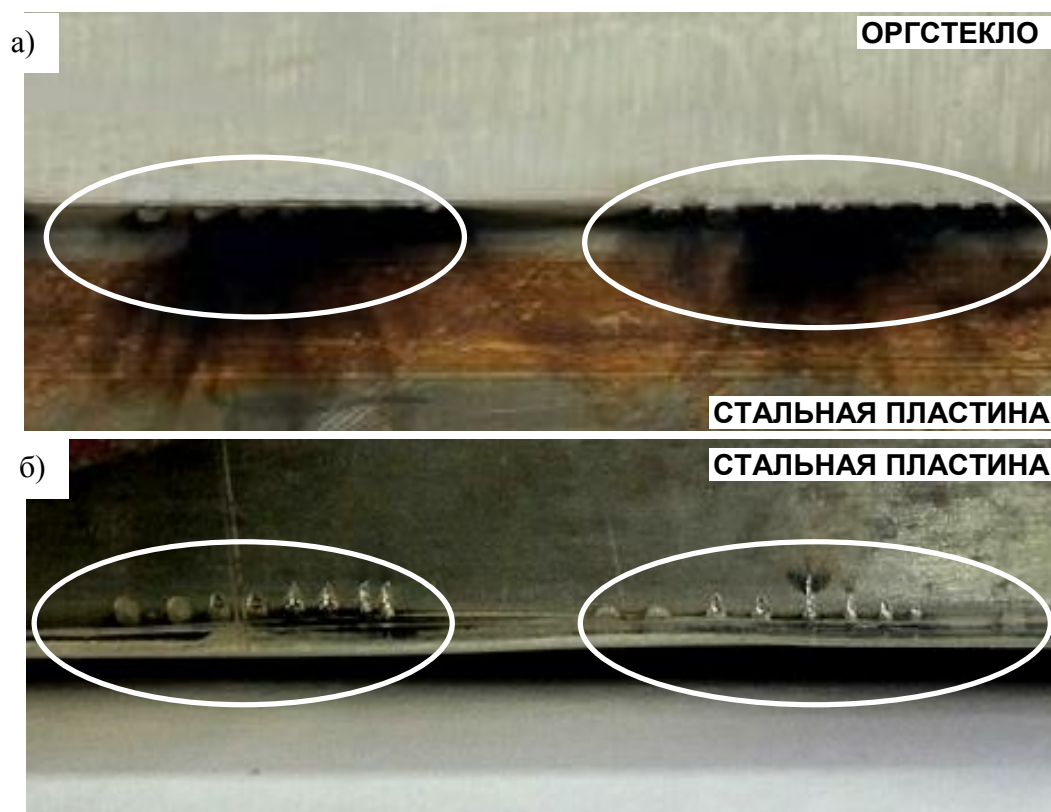


Рис. 1. Отпечаток импульса: а – в направлении лазерного луча; б – перпендикулярно лазерному лучу

Так как тип лазерного источника импульсно-периодический и длина волны составляет 1,06 мкм, то лазерное излучение беспрепятственно проходит через оргстекло и отпечаток остаётся только на поверхности металла. Лазерное воздействие производилось на максимальном рабочем напряжении 425 В; длительность импульса составляла 12,5 мс; режим лазера – одиночный. При простановке точек варьировали фокусное расстояние от 0 до 12 (по регулятору на установке) и форму импульса: плавное нарастание, колокол, прямоугольник, трапеция, плавный спад (задаётся программно).

Измерение геометрических параметров сварной точки производили при помощи измерительной лупы ЛИ-3-10х. При выявлении оптимальной формы точки исходили из соображения максимальной её глубины в сочетании с максимальной шириной.

Свариваемые образцы из стали 12Х18Н10Т размером 100х50х1,0 мм получены резкой на гильотинных ножницах с последующей механической обработкой свариваемых кромок и их обезжириванием и обезвоживанием.

Стыковые соединения образцов собирались на технологических планках размером 70х25х1,0 мм с простановкой точечных прихваток (см. рис. 2). Сварка осуществлялась на лазерной технологической установке Булат LRS 300 на режимах, представленных в табл. 1, при трапециевидальной форме импульса с односторонним формированием шва.

Для получения герметичного валика сварку вели на скорости, обеспечивающей перекрытие соседних точек на 50...60 % диаметра.

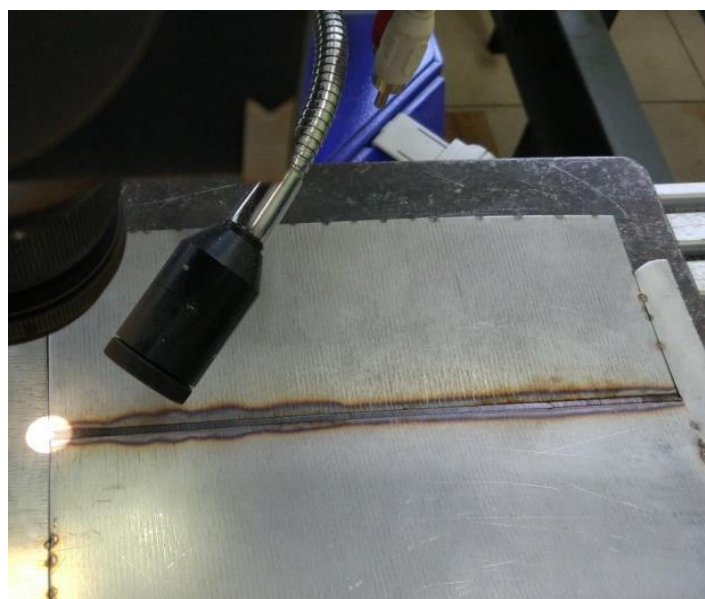


Рис. 2. Процесс сварки стали 12Х18Н10Т толщиной 1 мм

Таблица 1

Режимы лазерной сварки

Номер образца	Длительность излучения импульса, мс	Частота повторения импульсов излучения, Гц	Максимальная мощность излучения, Вт	Фокусное расстояние, ед.
1	6,00	4	450	5
2	8,00	5		6
3	10,00	6		7
4	12,50	7		8
5	14,00	3		9

Испытания на статическое растяжение образцов VIII типа (100x15x1,0 мм) по ГОСТ 6996-66 «Сварные соединения. Методы механических свойств» проводили на разрывной машине Instron 3382.

Пробоподготовку для исследования микроструктуры выполняли на настольном абразивном отрезном станке фирмы Delta AbrasiMet и шлифовально-полировальном станке марки EcoMet 250 с полуавтоматической насадкой AutoMet 250. Микроскопию проводили на оптическом микроскопе Nikon Eclipse MA 200. Произведено травление образцов в растворе соляной кислоты, глицерина и азотной кислоты в соотношении 4:4:3.

Результаты исследования

Таким образом, при определении влияния формы импульса и фокусного расстояния получены пять участков с восемью проставленными точками (см. рис. 3).

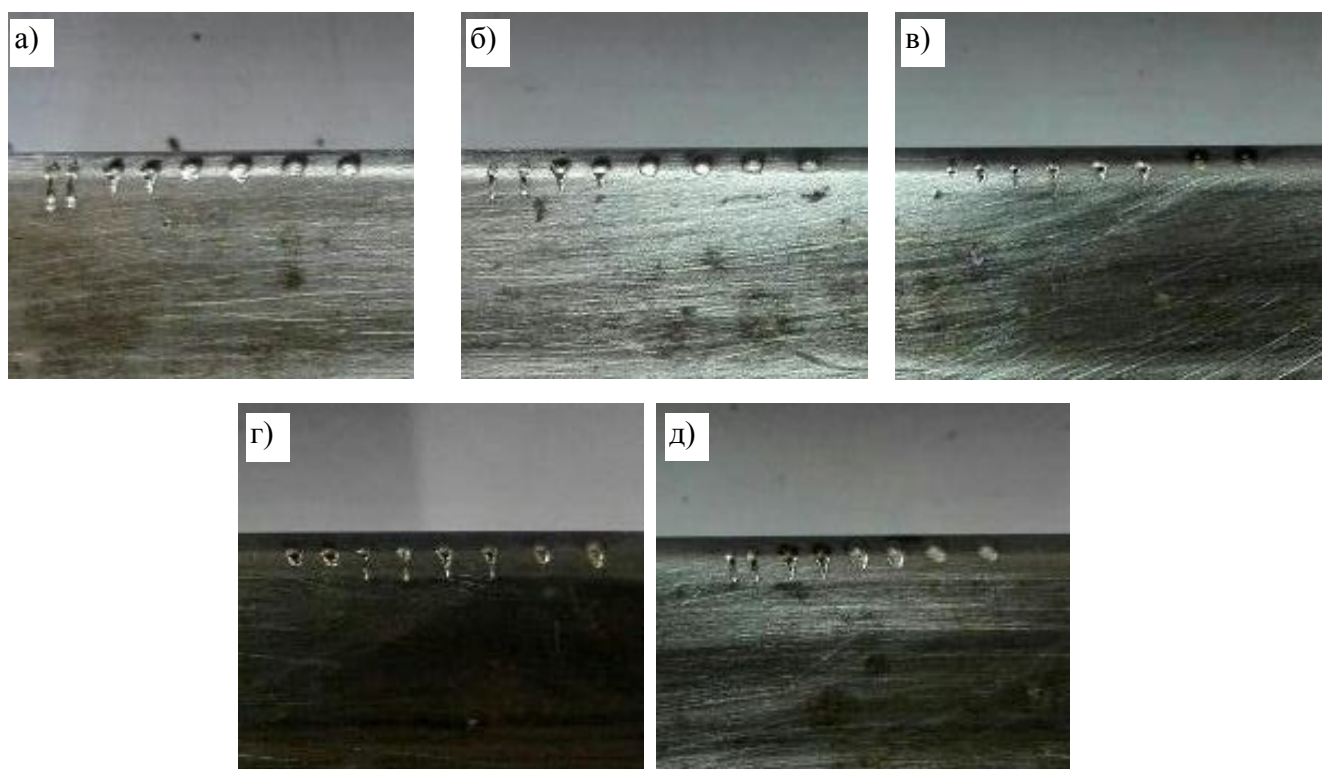


Рис. 3. Форма точки в зависимости от формы импульса и фокусного расстояния: а – плавное нарастание; б – колокол; в – прямоугольник; г – трапеция; д – плавный спад

Результаты измерения параметров точек представлены в табл. 2, на рис. 4 и 5.

Таблица 2

Результаты замера геометрии сварной точки при разной форме импульса и фокусном расстоянии

Фокусное расстояние	Форма импульса					
	плавное нарастание		колокол		прямоугольник	
	глубина	ширина	глубина	ширина	глубина	ширина
11	1,3	1,25	1,15	1,1	1	1,3
8	1,45	1,2	1,2	1,05	1,4	0,85
5	1,95	0,8	1,9	0,8	2,3	0,45
0	2,6	0,6	2,1	0,5	0,9	0,4

Фокусное расстояние	Форма импульса			
	трапеция		свободный	
	глубина	ширина	глубина	ширина
11	1,6	1,3	1,5	1
8	1,65	1,2	1,95	0,6
5	1,8	0,9	1,85	0,45
0	1,9	0,75	0,95	0,8

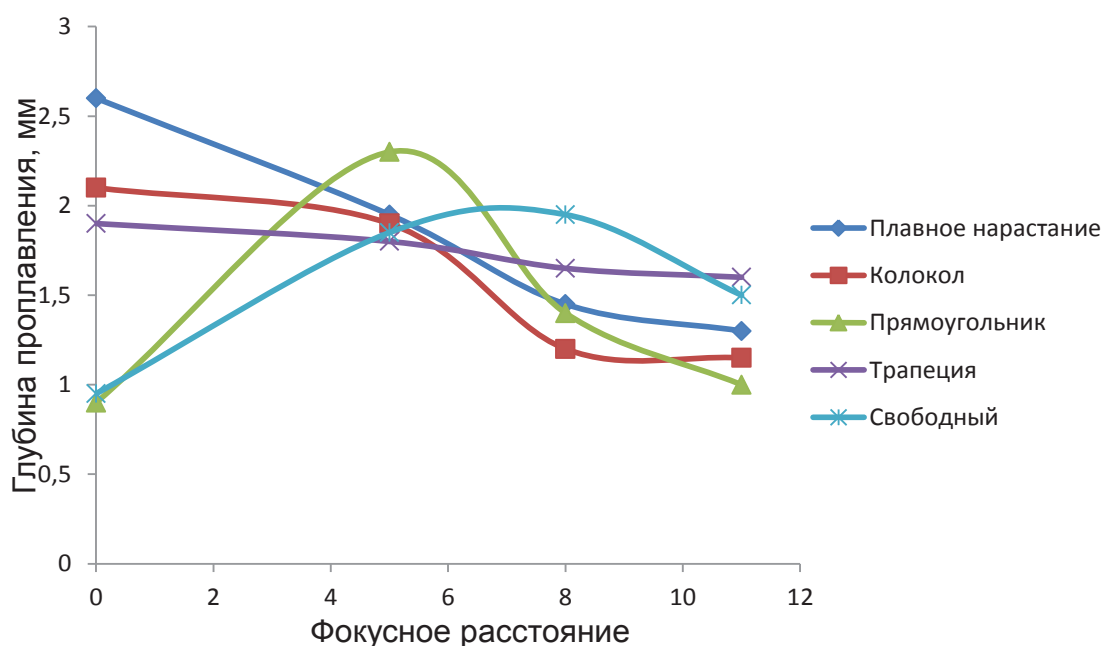


Рис. 4. Зависимость глубины проплавления от фокусного расстояния при различной форме импульса

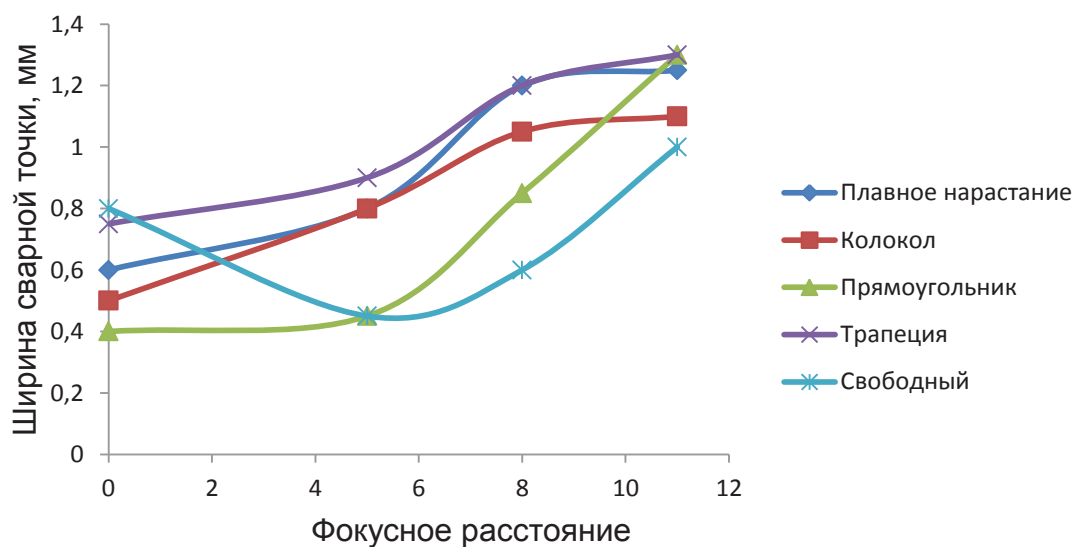


Рис. 5. Зависимость ширины сварной точки от фокусного расстояния при различной форме импульса

Определено, что оптимальной формой импульсов для сварки исследуемых материалов является трапеция на фокусном расстоянии, равном 8 единицам. Регулируемая форма импульсов влияет на снижение порога. При выборе формы импульсов в виде трапеции наблюдается формирование качественных сварных соединений и отсутствие выплесков из зоны сварки. Это объясняется более плавным достижением максимальной температуры в зоне сварки при уменьшении давления паров в сварочной ванне. Оптимальная длительность импульсов трапецидальной формы лежит в пределах 12...14 мс для нержавеющей стали, что соответствует данным, представленным в работе [2]. При этом удаётся получить более глубокое проплавление (до 30 %) и более высокую ширину сварного соединения.

Микроструктура сварных образцов представлена на рис. 6.

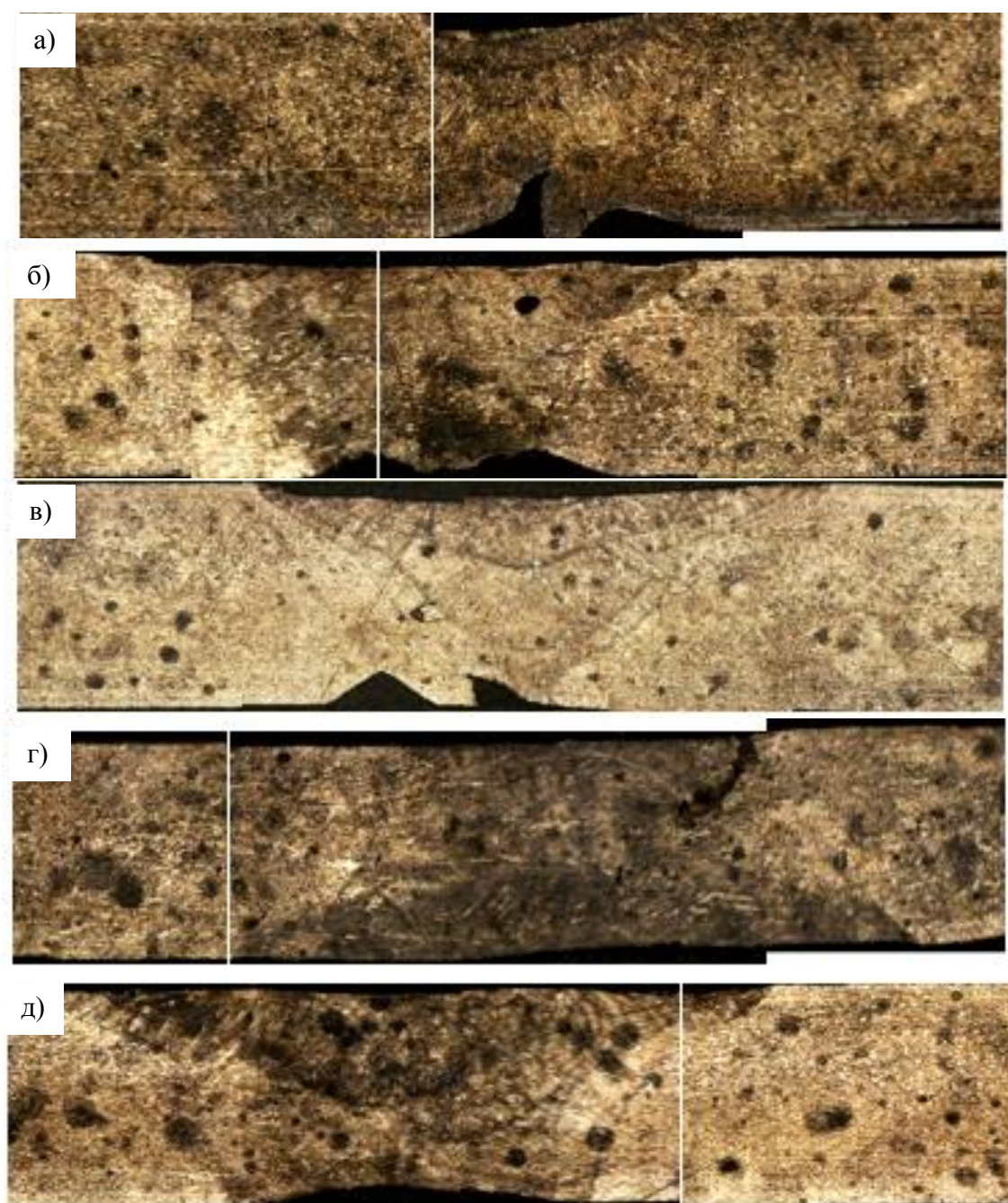


Рис. 6. Микроструктура сварных соединений $\times 100$:
а – образец 1; б – образец 2; в – образец 3; г – образец 4; д – образец 5



Результаты металлографического исследования шлифов показали, что суммарное местное занижение сварного шва, минимальная толщина в зоне шва, ширина литой зоны сварного шва, смещение сваренных кромок, высота проплавления полностью удовлетворяют техническим требованиям к сварным соединениям пластин малой толщины только в образцах 4 и 5.

Результаты испытания на статическое растяжение сварных образцов представлены в табл. 3.

Анализ разрушений сварных образцов показывает, что образцы 4 и 5 разрушены по основному металлу, а образцы 1–3 – по околошовной зоне. Причиной этого послужило отсутствие провара корня шва или неудовлетворительная его геометрия (наличие утяжин и местных несплавлений).

Таблица 3

Механические свойства сварных образцов

Номер образца	Предел текучести, МПа	Предел прочности, МПа	Деформация при растяжении, %	Диаграмма разрушения
1.	190	588	26	
2.	166	581	20	
3.	131	413	30	
4.	128	591	80	
5.	153	648	80	
По ГОСТ 5632-2014 ¹	196	510	40	

Примечания

¹⁾ ГОСТ5632-2014 «Легированные нержавеющие стали и сплавы коррозионно-стойкие, жаро-стойкие и жаропрочные. Марки (введён 2015-01-01).

²⁾ Приведены среднеарифметические значения из трёх измерений.

Выводы

1. Установлена возможность получения сварных герметичных швов нержавеющей тонкостенных конструкций на установке BULAT LRS 300.

2. Управляя формой импульса и фокусным расстоянием по разработанной авторами уникальной методике, мы установили оптимальную форму сварочной точки, полученной лазерным излучением.

3. Установлено, что для сварки тонкостенных конструкций (толщина стенки 1 мм) наиболее подходящей является трапециевидальная форма импульса со значением фокусного расстояния 8 при максимальном рабочем напряжении 450 В; частотой и длительностью импульса 7 Гц и 12,5 мс режим лазера – одиночный. При использовании такого режима достигаются хорошее формирование корня шва и механические свойства сварного шва, соответствующие основному металлу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Денисов, Б. С. Сварка в самолётостроении. Сварные конструкции МИГов / Б. С. Денисов, А. И. Мейлах. – М.: Машиностроение, 2007. – 358 с.
2. Григорьянц, А. Г. Технологические процессы лазерной обработки: учеб. пособие для вузов / А. Г. Григорьянц, И. Н. Шиганов, А. И. Мисюров. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006. – 664 с.
3. Акулов, А. И. Технология и оборудование сварки плавлением: учебник для студентов вузов / А. И. Акулов, Г. А. Бельчук, В. Л. Демянцевич. – М.: Машиностроение, 1979. – 432 с. с ил.
4. Сварка в машиностроении: справ. пособие. В 4 т. Т 4 / под ред. Ю. Н. Зорина. – М.: Машиностроение, 1979. – 512 с. с ил.
5. Куркин, С. А. Лазерная сварка [Электронный ресурс] / С. А. Куркин. – Режим доступа: <http://mastery-of-building.org/princip-dejstviya-lazernoj-svarki/> (дата обращения: 23.05.2017).
6. Сварка нержавеющей сталей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.smart2tech.ru/svarka-nerzhaveyushchej-stali> (дата обращения: 25.05.2017).