

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ЛАЗЕРНОЙ СВАРКИ ХРОМИСТОЙ БРОНЗЫ И НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ

*Повалюхин Д.В., Бинков И.И., Кривошеев А.В.,
Пономаренко С.Л., Холопов А.А.*

*Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана,
г.Москва*

Ключевые слова: волоконный лазер, лазерная сварка, бронза, макроструктура, микротвердость, нержавеющая сталь, разнородные материалы, стыковой сварной шов.

Аннотация. В данной статье исследуется вопрос лазерной сварки разнородных материалов, таких как хромистая бронза марки БрХ – 1 и нержавеющая сталь марки 12Х18Н10. В работе рассматривается сварка пластин толщиной 4 мм встык в непрерывном режиме без использования присадочного материала. Для данной цели использовался иттербиевый волоконный лазер «ЛС – 10» с длиной волны 1,07 мкм и мощностью 10 кВт. Для изучения макроструктуры образцов был использован оптический микроскоп «Olympus SZ – 61».

DEVELOPMENT OF LASER WELDING TECHNOLOGY FOR CHROMIUM BRONZE AND STAINLESS STEEL

*Povaliukhin D.V., Binkov I.I., Krivosheyev A.V., Ponomarenko S.L., Kholopov A.A.
Bauman Moscow State Technical University, Moscow*

Keywords: fiber laser, laser welding, bronze, macrostructure, microhardness, stainless steel, dissimilar materials, butt weld.

Abstract. This article explores the issue of laser welding of dissimilar materials, such as chromium bronze grade BrX – 1 and stainless steel grade 12X18H10. The work considers welding butt plates with a thickness of 4 mm butt in a continuous mode without the use of filler material. For this purpose, an «LS – 10» ytterbium fiber laser with a wavelength of 1.07 μm and a power of 10 kW was used. To study the macrostructure, an «Olympus SZ-61» optical microscope was used.

Введение

Сварка разнородных материалов примечательна для многих промышленных отраслей, в частности машиностроение, тем, что свариваемые материалы по отдельности не обладают характерными для таких швов свойствами [1]. Неразъемные соединения бронзы и нержавеющей стали обладают высокими значениями электропроводности, прочности [2].

Традиционные способы сварки, в частности аргоно-дуговая сварка, не всегда способны обеспечить бездефектный сварной шов между разнородными материалами. В публикации [3] авторы использовали дуговую сварку неплавящимся электродом для получения медно-стального сварного соединения, однако были обнаружены такие дефекты, как поры в шве, непровары и трещины в ЗТВ меди.

Условия эксперимента и оборудование

Для проведения эксперимента был использован комплекс для сварки «LaserWeld10R120» на базе иттербиевого волоконного лазера «ЛС – 10», с длиной волны 1,07 мкм и обеспечивает выходную мощность до 10 кВт.

В исследовании использовались материалы: хромистая бронза БрХ – 1 и нержавеющая сталь 12Х18Н10. Размеры бронзовых и стальных пластин составляли 70 х 50 х 4 мм. Поверхности пластин были зачищены наждачной бумаги Р1200 для удаления оксидной пленки, а затем очищены ацетоном.

Для разработки технологии сварки:

1) были выбраны диапазоны варьирования режимов: мощности лазера от 3 до 4 кВт, скорости сварки от 25 до 45 мм/с (табл. 1);

2) выставили фокальную плоскость лазерного излучения так, чтобы она совпадала с поверхностью пластин [4];

3) использовали теоретическое предположение в [2] о смещении пятна лазера в сторону бронзовой пластины, величину смещения приняли 2 мм;

4) обеспечили подачу аргона в зону сварочной ванны со скоростью истечения 20 л/мин для защиты от окисления;

5) разработали оснастку для крепления и обеспечения допустимого зазора свариваемых поверхностей, определенный ГОСТом 28915 – 91.

Фокусное расстояние – 500 мм, а размер пятна – 0,4 мм. Пластины были сварены односторонней лазерной сваркой встык с проплавлением на всю толщину, угол наклона излучения относительно поверхности – 90° (рис. 1). Сварные швы изготовлены без использования присадочного металла.

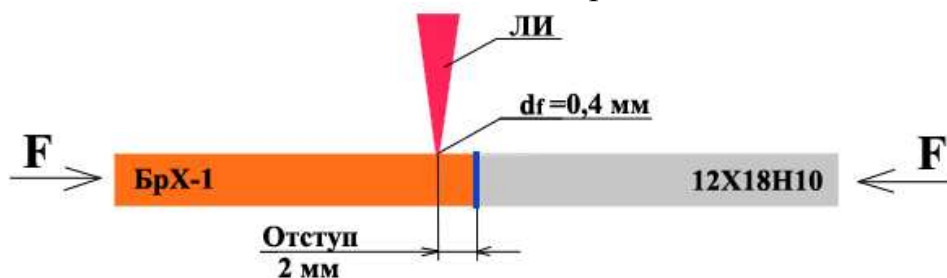


Рис. 1. Схема лазерной сварки встык пластин без присадки

Табл. 1. Режимы лазерной сварки бронзы и нержавеющей стали

№ образца	Мощность, [Вт]	Скорость [мм/с]	Погонная энергия [Вт·с/мм]
1	3,0	30,0	100,0
2	3,5	30,0	116,7
3	4,0	30,0	133,3
4	4,0	25,0	160,0
5	4,0	35,0	114,3
6	4,0	45,0	88,9

Затем образцы было необходимо подготовить для исследований. Вырезка, запрессовка в оправки, шлифовка, полировка, промывка образцов производилась на оборудовании «Struers». Для травления образцов используют реагент из мрамора (HCl – 100 см³, CuSO_4 – 20 г., H_2O – 100 см³), который хорошо подходит как для бронзы, так и для нержавеющей стали [4]. Микротвердость измерялась с помощью твердомера Виккерса «EmcoTest DuraScan 20» с нагрузкой индентора 100 г. в 3 зонах: бронза – сварной шов – нержавеющая сталь с шагами 100, 100 и 150 мкм соответственно. Макроструктуру анализировали с помощью микроскопа «Olympus SZ-61».

Результаты

В процессе сварки разнородных материалов, в частности бронзы и нержавеющей стали, могут возникнуть следующие проблемы:

- ограниченная растворимость бронзы в стали, порядка 1-2 % [2];
- различные теплофизические свойства свариваемых материалов;
- трещинообразование в ЗТВ бронзы из-за склонности ее зерна к росту и связанную с этим охрупчиванием под влиянием источника нагрева [4];
- трещинообразование при совместных действиях жидкой меди, проникающей в микронадрывы, которые возникают из-за кристаллизации матричной фазы – стали, и термических напряжений [1].

Формирование фазового слоя требует снижения подачи тепла при формировании шва. Применение лазера как источника концентрированной энергии при высоких скоростях сварки (от 2 м/мин) решает задачу получения сварного шва разнородных материалов без значительных дефектов. Но из-за высоких коэффициентов теплопроводности и отражения бронзы достижение температуры плавления является затруднительным, поэтому единственным решением является повышение мощности излучения.

Примеры сечений образцов с наилучшей формой шва и отсутствием дефектов приведены на рис. 2 (а, б). Форма сварных соединений характерна для лазерной сварки без присадки, все образцы имеют сквозное проплавление.

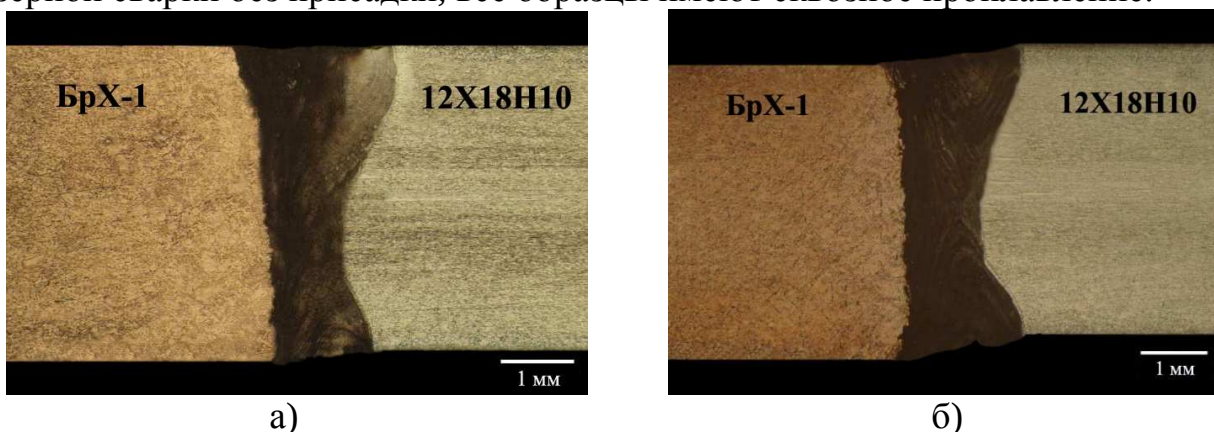


Рис. 2. Макроструктура сварных образцов: а) образец №1; б) образец №2

Чем выше скорость сварки, тем меньше ширина сварного шва [1], зависимость носит экспоненциальный характер. Максимальная ширина сварного шва была при скорости 25 мм/с, а минимальная при скорости сварки 45 мм/с. Зависимость ширины шва от режимов сварки можно объяснить более высоким тепловложением, характеризующееся параметром погонная энергия – отношение мощности излучения к скорости. Чем больше данный параметр, тем размеры шва становятся больше. Ширина сварного шва при мощности лазерного излучения в 4 кВт составляла 2,15 – 3,1 мм (рис. 3).

В оценке качества сварного соединения с полным проплавлением используется безразмерный коэффициент формы шва (К), определяемый отношением глубины к ширине проплавления. Для таких швов этот коэффициент должен быть строго больше 1, в нашем случае 1,47 – 1,74.

Граница раздела между зоной плавления и бронзой показана на рис. 4. Структура зоны слияния проявляет неоднородность. Светлые частицы в зоне

сплавления характеризуются высоким содержанием бронзы. Наблюдается симметричное смешивание верхней и нижней части образцов, что объясняется более интенсивным теплоотводом в центральной области. На границе раздела расплавленный металл бронзы проникает в стальные микронадрывы.

Значения микротвердости для образца №1 приведены на рис. 5. Было зафиксировано увеличение микротвердости со стороны бронзы к зоне шва и ее уменьшение со стороны стали к зоне шва. Перепады значений объясняются химической неоднородностью шва. Твердость зоны сплавления больше, чем твердость более слабого основного материала бронзы. Это можно объяснить тем, что Cu образовывал твердые растворы с Ni и Fe , формируя тем самым определенный промежуточный слой.

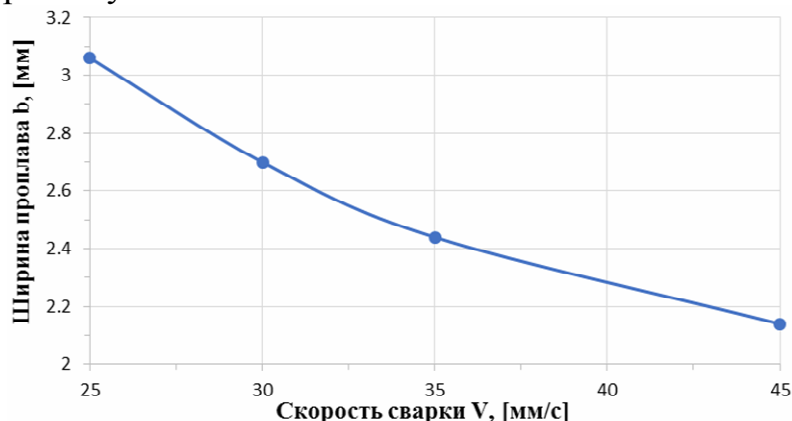


Рис. 3. Зависимость ширины шва от скорости сварки для образцов №3 – 6



Рис. 4. Зона сплавления металла шва и бронзы образца №1

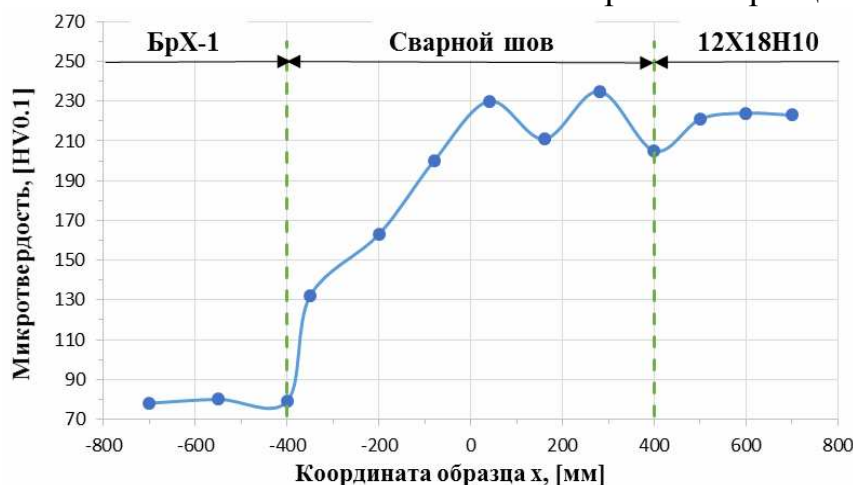


Рис. 5. Микротвердость образца №1 в 3 зонах

Выводы

- исходя из макроструктуры образцов, сварные швы неоднородны из-за ограниченной растворимости бронзы в стали (порядка 2%);
- на макроструктуре проявляется симметричное смешивание образцов из-за более интенсивного теплоотвода в центральной области;
- при рассмотрении границы раздела сварных швов можно убедиться в том, что расплавленная бронза проникает в стальные микронадрывы;
- при погонной энергии ширина шва увеличивается, а коэффициент формы шва уменьшается, но остается больше 1;
- твердость зоны сварного шва выше, чем у более слабого материала бронзы, что объясняется образованием твердых растворов Cu с Ni и Fe;
- исходя из вышеизложенных критериев, образец №1 является наилучшим и его режим вместе с этапами подготовки к эксперименту можно трактовать как рекомендация по технологии лазерной сварки бронзы и стали.

Список литературы

1. Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н., Мисюров А.И. Технологические процессы лазерной обработки: Учеб. пособие для вузов / Под ред. А.Г. Григорьянца. – 2-е изд., стереотип. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 664 с.
2. Лазерная техника и технология. В 7 кн. Кн. 5 Лазерная сварка металлов: Учеб. Пособие для вузов / А.Г. Григорьянц, И.Н. Шиганов; Под ред. А.Г. Григорьянца. – М.: Высш.шк., 1988 – 207 с.
3. Y. Poo-arporn, S Duangnil, D. Bamrungkoh, P. Klangkaew, C. Huasranoi, P. Pruekthaisong, S. Boonsuya, J Chaiprapa, A. Ruangvittayanon, C. Saisombat: Gas tungsten arc welding of copper to stainless steel for ultra-high vacuum applications, Journal of Materials Processing Tech. (2019), 116490.
4. Справочник по лазерной сварке. Редактор оригинального издания С. Катаяма – Москва: ТЕХНОСФЕРА, 2015. – 704 с.

Сведения об авторах:

Повалюхин Даниил Васильевич – студент МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва;

Бинков Иван Игоревич – студент МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва;

Кривошеев Александр Валерьевич – студент МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва;

Пономаренко Светлана Леонидовна – студентка МГТУ им. Н.Э. Баумана, г.Москва;

Холопов Андрей Андреевич – к.т.н., доцент, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана, г.Москва.