



УДК 621.791

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОПЛАВЛЕНИЯ СЕРЕБРА ПРИ ИМПУЛЬСНОЙ ЛАЗЕРНОЙ СВАРКЕ С РАЗЛИЧНЫМИ СПОСОБАМИ ВВОДА ПРИСАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА

Белоусов Илья Владимирович

старший преподаватель
ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет»
г. Москва
b.k.201@bk.ru

Пестерев Владислав Евгеньевич

студент
ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет»
г. Москва
vlad11ur@mail.ru

Шлыкова Александра Алексеевна

студентка
ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет»
г. Москва
alex.petrajte@gmail.com

Тулупов Александр Александрович

студент
ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет»
г. Москва
potrashik@gmail.com

Бадуркин Игорь Алексеевич

студент
ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет»
г. Москва

Аннотация

Для сокращения времени нагрева поверхности свариваемого материала и снижения его отражающей способности в условиях импульсной лазерной сварки серебра – металла с высоким коэффициентом отражения и теплопроводности, предпочтительно использование присадочного материала с низкой отражающей способностью и высокой теплоемкостью, способного вызвать бурную экзотермическую реакцию. Исходя из

физико-химических особенностей серебра для нашего исследования был выбран следующий присадочный материал: Al+CuO.

Ключевые слова: Лазерная сварка, присадочный материал, дефокусировка, глубина проплавления, эффективность проплавления. сварная точка, прожог, отражающая способность, теплопроводность, теплоёмкость.

RESEARCH OF THE EFFICIENCY OF SILVER MESTERING IN A PULSE LASER WELDING WITH VARIOUS METHODS OF INPUTING ADDITIVE MATERIAL

Ilya V. Belousov

senior lecturer

«MIREA – Russian University of technology»

Moscow

b.k.201@bk.ru

Vladislav E. Pesterev

student

«MIREA – Russian University of technology»

Moscow

vlad11ur@mail.ru

Alexandra A. Shlykova

student

«MIREA – Russian University of technology»

Moscow

alex.petrajte@gmail.com

Alexander A. Tulupov

student

«MIREA – Russian University of Technology»

Moscow

potrashik@gmail.com

Igor A. Badurkin

Student

«MIREA – Russian University of Technology»

Moscow

azawertik@gmail.com

ABSTRACT

To shorten the heating time of a welding material's surface and decrease its reflectivity under impulse laser welding of silver - a metal of a high reflectivity coefficient and thermal conductivity, it is preferable to use an adding material with low reflectivity and high heat capacity, that is able to cause a strong exothermic reaction. Our choice of Al+CuO adding material for our research is based on physical and chemical properties of silver.

Keywords: Laser welding, adding material, defocusing, depth of penetration, penetration efficiency, weld point, burn-through, reflectivity, thermal conductivity, heat capacity

Целесообразность использования импульсных лазеров основана на таких существенных достоинствах, как широкие возможности регулирования плотности мощности в пятне нагрева; ограниченное тепловое воздействие на изделие; отсутствие электромагнитных полей, вызванных протеканием тока и др. [1].

Управление формированием сварного шва, т.е. получение заданной глубины проплавления и ширины шва в условиях импульсной лазерной сварки является важной технологической задачей, для решения которой необходимо исследование особенностей поглощения излучения свариваемым материалом. Принято различать условия формирования, при которых удельная мощность источника нагрева превышает критическое значение, необходимое для начала плавления, и приближается к величине, обеспечивающей развитие кипения и формирование с докритическими плотностями мощности излучения [2].

Несмотря на ряд преимуществ у процесса лазерной сварки есть также и существенный недостаток – это сварка металлов с высокой отражающей способностью, при которой основная часть энергии в процессе облучения попросту теряется, что в конечном итоге приводит к необходимости увеличения энергии лазерной установки и поискам альтернативных решений данной проблемы, путем добавления присадочных материалов [3].

При исследовании эффективности использования присадочных материалов были выбраны следующие параметры для сварки двух серебряных пластин размером 25x9x0,8мм каждая:

- сварка образцов совершается вдоль стыка;
- напряжение накачки 400 В;
- длительность импульса – 4 мс и 10 мс;
- две формы проплавления: куполообразная и квадратная.

Сборка двух серебряных пластин размером 25x9x0,8мм в качестве образцов для сварки произведена под микроскопом, встык, с минимальным зазором, с последующим добавлением Al+CuO в качестве присадочного материала.

После процесса сварки, образцы изучены под микроскопом, благодаря чему были произведены замеры диаметров полученных сварных точек и глубины проплавления (рис. 1, 2). Результаты проведенного исследования эффективности проплавления с добавлением в зону шва Al+CuO представлены в таблице 1.

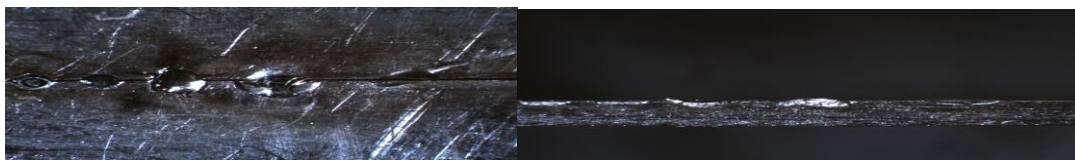


Рисунок 1. Сварка без использования присадочного материала

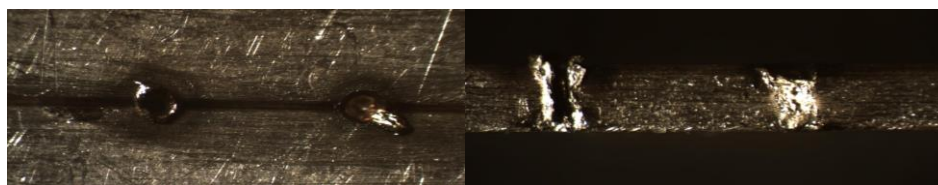


Рисунок 2. Сварка с добавлением Al+CuO

Таблица 1. Результаты проведенного исследования эффективности проплавления с добавлением в зону шва Al+CuO

U _н , В	Дефокусировка, м	Длительность импульса, мс	Форма импульса	D, мм	h, мм
400	0,5	4		0,465	0,800
400	0,5	10		0,357	0,800
400	1	4		0,606	0,247
400	1	10		0,671	0,294
400	1,5	4		0,757	0,205
400	1,5	10		0,811	0,360

При дефокусировке 1,5 мм эффективность проплавления на 10 мс незначительно больше, чем на 4 мс. Глубина проплавления в обоих случаях недостаточная для образования качественного сварного соединения.

При дефокусировке 1 мм эффективность проплавления на 10 мс всё ещё несколько больше, чем на 4 мс, но при этом диаметр сварных точек уменьшается, а глубина меняется незначительно в сравнении с результатами, полученными при дефокусировке 1,5 мм. При этом глубины проплавления всё ещё недостаточно для образования качественного соединения.

При дефокусировке 0,5 мм мы получаем полное проплавление, что в несколько раз выше, чем при дефокусировке 1 мм. На параметре 10 мс металл вылетает из зоны сварной точки и получается прожог. При параметре 4 мс металл сохраняется в зоне сварной точки, в результате чего образуется сварное соединение.

После сравнения результатов можно сделать вывод, что в нашем исследовании использование длины импульса 4 мс оказывается эффективнее, а ввод Al+CuO в качестве присадочного материала, многократно увеличивает эффективность проплавления.

Выбрав оптимальным параметром длительности импульса 4 мс, следующим этапом, мы подберём оптимальный способ ввода присадочного материала и наиболее энергоэффективные параметры на выбранной длительности. Присадочный материал добавлялся в зону сварного соединения двумя способами:

1) При помощи тонкого слоя канцелярского клея оксид меди наносился между двух листов алюминиевой фольги, после чего полученный материал прокатывался на вальцах для достижения минимально возможной толщины для ввода в стык ради достижения минимального зазора (рис. 3а)

2) При помощи тонкого слоя канцелярского клея оксид меди наносился на лист алюминиевой фольги. Полученный материал укладывался поверх стыковой области (рис. 3 б).

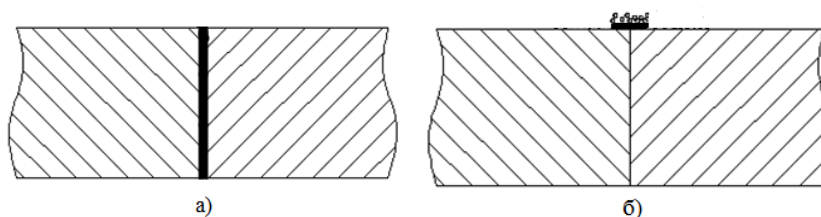


Рисунок 3. Методы ввода присадочного материала в зону сварного шва

- а) –расположение присадочного материала в стыке;
б) –расположение присадочного материала на поверхности шва.

Для наглядного сравнения так же был проведён опыт на чистом серебре без добавления присадочного материала, результаты которого для наглядности представлены в виде сравнительной таблицы (табл. 2) и диаграмм (рис. 4 - 6)

Таблица 2. Сравнение эффективности проплавления при различных методах ввода присадки и различных параметрах

U _н , В	Дефокусировка, мм	Длительность импульса, мс	Форма импульса	D, мм	h, мм
Ag					
400	0,5	4	☪	0,446	0,117
400	0,5	4	■	0,445	0,085
450	0,5	4	■	0,637	0,186
Ag+Al+CuO (в зоне сварного шва)					
400	0,5	4	☪	0,703	0,337
400	0,5	4	■	0,647	0,259
450	0,5	4	■	0,585	0,197
Ag+Al+CuO (на поверхности сварного шва)					
400	0,5	4	☪	0,476	0,800
400	0,5	4	■	0,465	0,800
450	0,5	4	■	0,238	0,800

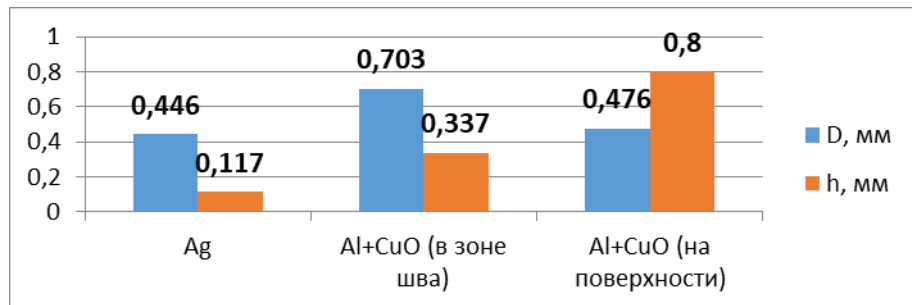


Рисунок 4. Сравнение геометрии сварных точек на следующих параметрах: Напряжение: 400 В, Длительность импульса: 4, Дефокусировка: 0,5 мм, Форма импульса: куполообразная

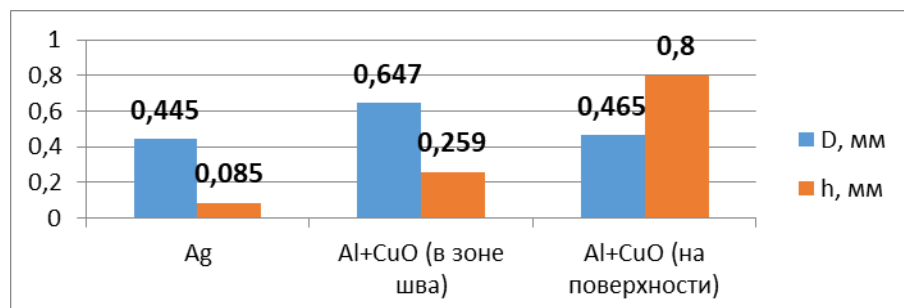


Рисунок 5. Сравнение геометрии сварных точек на следующих параметрах: Напряжение: 400 В, Длительность импульса: 4, Дефокусировка: 0,5 мм, Форма импульса: прямоугольная

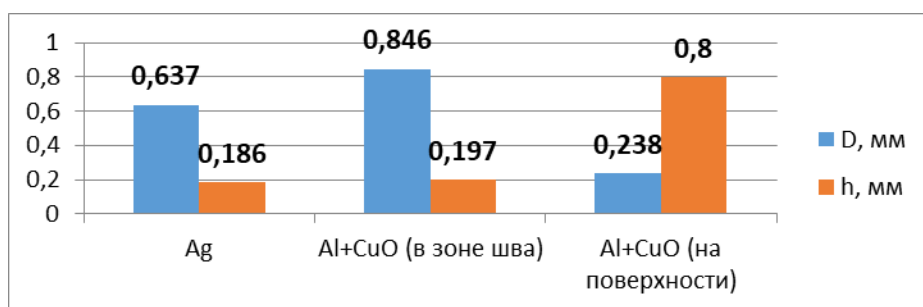


Рисунок 6. Сравнение геометрии сварных точек на следующих параметрах: Напряжение: 450 В, Длительность импульса: 4, Дефокусировка: 0,5 мм, Форма импульса: прямоугольная

Исходя из результатов, представленных на рисунках 4, 5,6 можно сделать вывод: добавление присадочного материала Al+CuO значительно увеличивает габариты сварной точки, но метод с введением присадочного материала в зону стыка оказывается не столь результативным ввиду наличия большого минимального зазора, который технически проблематично сделать меньше без разработки дополнительной оснастки, вследствие чего активация реакции взаимодействия присадочного и основного материала оказывается затруднительна, а энергия, направленная в сварную точку распределяется только по поверхности свариваемых образцов. Диаметр сварной точки увеличивается, но при этом происходит меньшая глубина проплавления. В исследовании с добавлением экзотермической смеси на поверхность стыка распределение энергии происходит наиболее эффективно, потому как благодаря такому способу ввода присадки удаётся получить минимальный зазор, в следствии чего удаётся достичь полного провара образца с соответствующим диаметром проплавления. Подводя итоги исследования, важно отметить, что выбор длительности импульса 4 мс оказывается наиболее эффективным, а ввод Al+CuO в качестве присадочного материала, многократно увеличивает эффективность проплавления.

Список литературы

1. Привезенцев В.И., Минаева Н.И. Особенности формирования сварных соединений при импульсной лазерной сварке узлов приборов из разнородных металлов. Сборник научных трудов МНТК, МГУ, Москва. – 2016.
2. Лазеры: применения и приложения: учебное пособие / А. С. Борейшо, В. А. Борейшо, И. М. Евдокимов, С. В. Ивакин; под редакцией А. С. Борейшо. – Санкт-Петербург: Лань, 2016. – 520 с.
3. Зорин, Н. Е. Материаловедение сварки. Сварка плавлением: учебное пособие / Н. Е. Зорин, Е. Е. Зорин. – 3-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2018. – 164 с.

References

1. Privezentsev V.I., Minaev N.I. Features of the formation of welded joints during pulsed laser welding of nodes of devices made of dissimilar metals. Collection of scientific works of MNTK, MTU, Moscow. – 2016 [in Russian].
2. Lasers: applications and applications: textbook / A. S. Boreysho, V. A. Boreysho, I. M. Evdokimov, S. V. Ivakin; edited by A. S. Boreysho. - Saint Petersburg: LAN, 2016. - 520 p. [in Russian].
3. Zorin, N. E. Material science of welding. Fusion welding: textbook / N. E. Zorin, E. E. Zorin – - 3rd ed. - Saint Petersburg: LAN, 2018. - 164 p. [in Russian].