

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 621.791.03

doi: 10.30987/2782-5957-2022-10-12-18

## ГИБРИДИЗАЦИЯ ЛАЗЕРНОЙ СВАРКИ

**Александр Геннадьевич Магдин<sup>1</sup>, Рустем Маратович Дюсегалиев<sup>2</sup>, Алексей Дмитриевич Припадчев<sup>3</sup>, Александр Алексеевич Горбунов<sup>4</sup>**

<sup>1,2,3,4</sup> Оренбургский государственный университет, г. Оренбург, Россия

<sup>1</sup> magdin.sasha@yandex.ru; Researcher ID - AHD-4234-2022; <https://orcid.org/0000-0002-6583-5231>

<sup>2</sup> dyusegaliev1337@yandex.ru

<sup>3</sup> apripadchev@mail.ru; Researcher ID - B-6420-2019; <https://orcid.org/0000-0003-1751-2478>

<sup>4</sup> gorbynovaleks@mail.ru; Researcher ID - P-4016-2017; <https://orcid.org/0000-0001-8120-2015>

### Аннотация

Целью работы является изучение гибридного сварочного процесса на основе объединения двух способов: лазерного и плазменного. Сочетание двух различных видов сварки представляет из себя перспективный путь для обнаружения и последующей ликвидации недоработок каждого из них. Задача, решению которой посвящена статья, нацелена на выявление особенностей при совмещении отличных друг от друга подходов к созданию сварных неразъемных соединений. В статье лаконичным образом анализируется процесс гибридной лазерной и плазменной сварки, приводится обобщенная информация по поводу их основных преимуществ и недостатков. Отличительной новизной данной работы является ранее не проводившийся

сжатый и совокупный анализ затронутой проблемы. Результатом осуществленного изучения является обнаружение отличительных особенностей гибридного сварочного процесса, объясняющих принципы рабочего процесса устройств. На основании проведенного исследования можно сделать следующие выводы: гибридная лазерная и плазменная сварка компенсируют недостатки и увеличивают преимущества друг друга; в ходе исследования были обобщены главные достоинства и изъяны, проанализированы важные аспекты каждого из затронутых методов получения неразъемных соединений.

**Ключевые слова:** сварка, соединения, процесс, сталь, плазма.

Ссылка для цитирования:

Магдин А.Г. Гибридная лазерная сварка / А.Г. Магдин, Р.М. Дюсегалиев, А.Д. Припадчев, А.А. Горбунов // Транспортное машиностроение. – 2022. - № 10. – С. 12 – 18. doi: 10.30987/2782-5957-2022-10-12-18.

Original article

Open Access Article

## HYBRIDIZATION OF LASER WELDING

**Aleksandr Gennadyevich Magdin<sup>1</sup>, Rustem Maratovich Dyusegaliev<sup>2</sup>, Aleksey Dmitrievich Pripadchev<sup>3</sup>, Aleksandr Alekseevich Gorbunov<sup>4</sup>**

<sup>1,2,3,4</sup> Orenburg State University, Orenburg, Russia

<sup>1</sup> magdin.sasha@yandex.ru; Researcher ID - AHD-4234-2022; <https://orcid.org/0000-0002-6583-5231>

<sup>2</sup> dyusegaliev1337@yandex.ru

<sup>3</sup> apripadchev@mail.ru; Researcher ID - B-6420-2019; <https://orcid.org/0000-0003-1751-2478>

<sup>4</sup> gorbynovaleks@mail.ru; Researcher ID - P-4016-2017; <https://orcid.org/0000-0001-8120-2015>

### Abstract

The paper objective is to study a hybrid welding process based on the combination of two methods: laser and plasma ones. The combination of two different types of welding is a promising way to detect and then eliminate the defects of each of them. The task to which the paper is devoted is aimed at finding out features when combining different approaches to the crea-

tion of fixed welded joints. The paper analyzes hybridization of laser and plasma piles in a concise way, provides generalized information about their main advantages and disadvantages. The distinctive novelty of this work is concise and cumulative analysis of the problem involved which has not been done before. The result of the study is the publication of the hybrid weld-

ing feature, explaining the principles of the working process of the devices. On the basis of the conducted research, the following conclusions can be drawn: hybridization of laser and plasma welding compensate for the disadvantages and increase the advantages of each

other; during the study, the main pros and cons are summarized, important aspects of each of the affected methods for obtaining fixed welded joints are analyzed.

**Keywords:** welding, joints, process, steel, plasma.

*Reference for citing:*

Magdin AG, Dyusegaliev RM, Pripadchev AD, Gorbunov AA. Hybridization of laser welding. *Transport Engineering*. 2022; 10:12 – 18. doi: 10.30987/2782-5957-2022-10-12-18.

## Введение

Исходя из потребностей современной промышленности, главным результатом общественного и научно-технического прогрессов в области сварки стала гибридизация путей создания прочных и надежных неразъемных соединений металлических изделий способом сваривания. Совмещение нескольких видов сварки, является основополагающим способом получения неразъемного соединения, сформированного на принципах лазерной и дуговой, лазерной и плазменной, лазерной двухлучевой или лазерной сварки под действием светового луча [1].

Совмещение отличных друг от друга подходов, образующих полноценный тех-

нологический процесс, представляет собой практичный способ устранения недостатков используемых видов сварки с обоснованной целью - увеличение качества получаемого неразъемного соединения, выполненного сваркой [2].

Параллельное воздействие струи плазмы и лазерного луча представляет собой одно из главных достижений промышленности, открывающих, например, решение к задаче о соединении нержавеющей сталей (подробная информация о классификации марок нержавеющей сталей представлена в табл. 1) толщиной от 0,3 до 15,0 мм [3].

Таблица 1

Классификация марок нержавеющей сталей

Table 1

*Classification of stainless steel grades*

Маркировка стали	Тип стали	Сфера применения	Химический состав, в %
12X18H10T	хромоникелевые стали аустенитного класса	для изготовления свариваемой аппаратуры в разных отраслях промышленности	Cr: 17-19 C: до 0,12 Si: до 0,8 Mn: до 2 Ni: 9-11 S: до 0,02 P: до 0,035 Ti: 0,6-0,8
08X18H10T	хромоникелевые стали аустенитного класса	для изготовления сварных изделий, работающих в средах более высокой агрессивности, чем сталь марок 12X18H10T и 12X18H9T	Cr: 17-19 C: до 0,08 Si: до 1 Mn: до 2 Ni: 9-12 S: до 0,02 P: до 0,035 Ti: до 0,7
08X18Г8Н2Т	хромомарганценикелевые стали аустенито-ферритного класса	для изготовления свариваемой аппаратуры, работающей в агрессивных средах, в химической, пищевой и других отраслях промышленности	Cr: 17-19 C: до 0,08 Si: до 0,8 Mn: 7-9 Ni: 1,8-2,8 S: до 0,025 P: до 0,035 Ti: 0,2-0,5

08X17H13M2, 08X17H13M2T	хромоникелевые молибденовые стали аустенитного класса	для технологического оборудования химической промышленности	Cr: 16-18 C: до 0,08 Si: до 0,8 Mn: до 2 Ni: 12-14 S: до 0,02 P: до 0,035 Ti: до 0,7 Mo: 2-3
08X22H6T	хромоникельмолибденовые стали аустенитно-ферритного класса	для изготовления свариваемой аппаратуры в химической, пищевой и других отраслях промышленности, работающей при температуре не более 300°С	Cr: 21-23 C: до 0,08 Si: до 0,8 Mn: до 0,8 Ni: 5,3-6,3 S: до 0,025 P: до 0,035 Ti: до 0,65
08X18H10	хромоникелевые стали аустенитного класса	для изделий, подвергаемых термической обработке (закалке)	Cr: 17-19 C: до 0,08 Si: до 0,8 Mn: до 2 Ni: 9-11 S: до 0,02 P: до 0,035 Ti: до 0,7

Необходимо обратить внимание на относительную безопасность и экономичность устройств плазменной (схема, которой представлена на рис.1) и твердотельной (активное тело устройства, установленное в осветительной камере, представляет из себя рубиновый стержень или неодим-примесное стекло, подвергнутое легированию [4]; накачивающая лампа, вызывающая сильные световые вспышки,

применяется для изменения нейтрального состояния атомов активного тела на возбуждённое (рис. 2)) лазерной сварок в отличие от других сварочных систем, использующих баллоны с ацетиленом, пропаном и кислородом - минимизируется опасность причинения вреда здоровью специалиста во время выполнения работ [5].

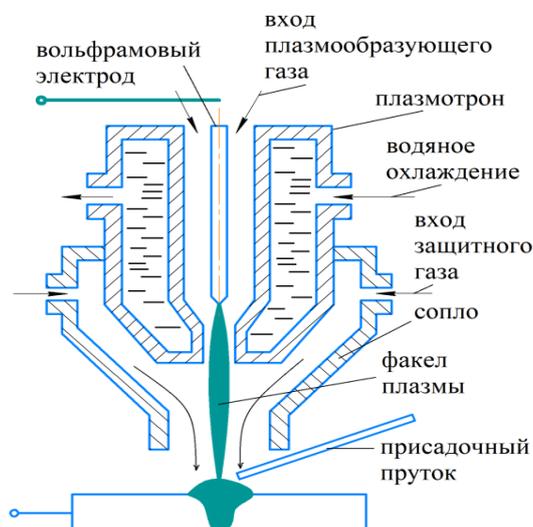


Рис. 1. Схематичное представление плазменно-сварочных работ  
Fig. 1. Schematic representation of plasma welding operations

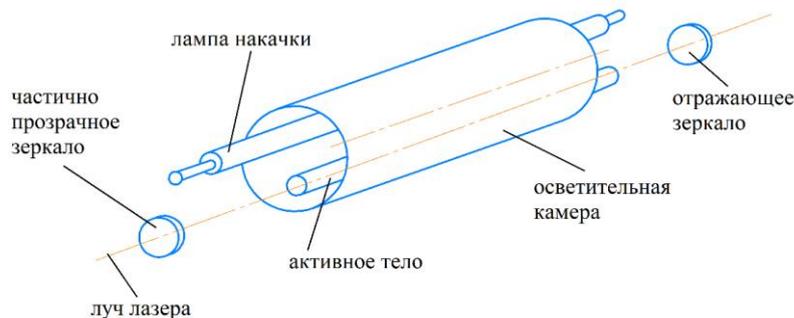


Рис. 2. Схема твердотельного лазерного устройства  
 Fig. 2. Diagram of a solid-state laser device

Сильный нагрев металла струей плазмы (рис. 3) приводит к преобразованию оптических характеристик плоскости металла - меняется показатель поглощения, определяющий степень взаимодействия лазерного потока с поверхностью. Данное явление наиболее важно при рабо-

те с лазерными установками малых мощностей, эффективность которых непосредственно зависит от коэффициента поглощения лазерного излучения [6]. Нетрудно догадаться, что себестоимость сварочного аппарата будет напрямую исходить из полезной мощности устройства [7].

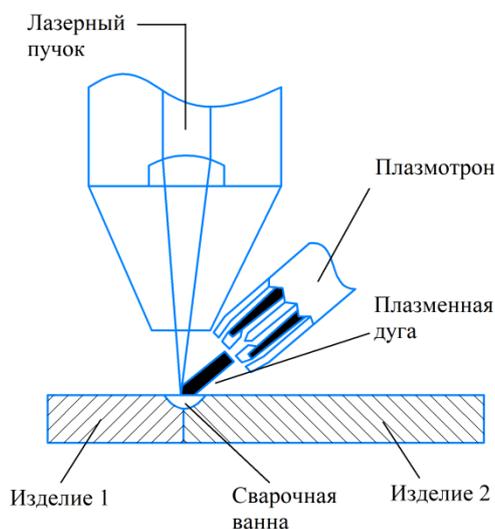


Рис. 3. Схема процесса последовательной лазерно-плазменной сварки  
 Fig. 3. The scheme of the process of sequential laser-plasma welding

Рассматриваемый способ гибридации двух видов сварки имеет место быть не только в стальной промышленности, но и в сфере обработки алюминиевых сплавов.

Такие проблемы как: неустойчивость хода плазменной дуги при больших темпах движения сварочного аппарата; понижение эффективности лазерного излучения; обра-

зование окисной пленки в течение сварки - становятся устранимыми в условиях современной промышленности за счет принципиально новой методики сварки тонколистовых алюминиевых сплавов, в основу которой заложен принцип совмещенной работы маломощного лазерного луча и микроплазменной дуги инверсионной полярности (рис. 4) [8].

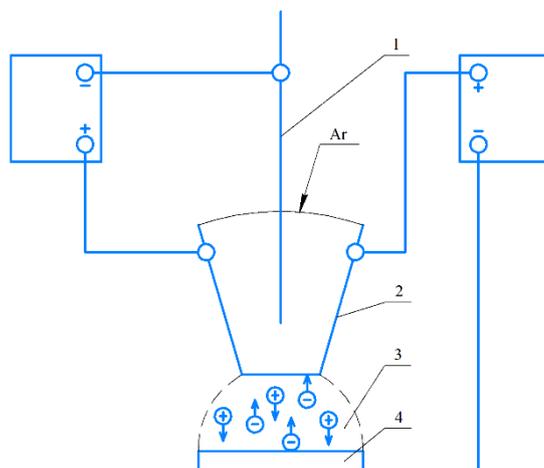


Рис. 4. Схема микроплазменной сварки на обратной полярности  
(1 – электрод, 2 – сопло, 3 – плазменный факел, 4 – катод)

Fig. 4. Reverse polarity microplasma welding scheme  
(1 – electrode, 2 – nozzle, 3 – plasma torch, 4 – cathode)

Например, при гибридной сварке сплава алюминия 0,35 мм толщиной при токе 22 Ампер и мощности пучка в 250 Вт становится возможным добиться темпов сварки в 9 метров в минуту с первоклассным очищением поверхности металла (ширина шва – от 1,0 до 1,2 мм) [9]. При этом таких результатов невозможно до-

стигнуть, пользуясь только микроплазменной или лазерной сварками, которые априори не допускают возможность выполнять сварку на скоростях, близких к 3 метрам в минуту. Более подробно ознакомиться с преимуществами и недостатками каждого из способов можно в табл. 2 [10].

Сравнительная характеристика сварок лазером и плазмой

Таблица 2

Table 2

Comparative characteristics of laser and plasma welds

	Лазерная сварка	Плазменная сварка
Точность сварки	Взаимодействие с поверхностью металла невероятно точное, исключаются колебания и скачки лазерного пучка. Эти аспекты становятся актуальными, когда речь идёт о высоком уровне соответствия проекту	Нестабильность дуги плазмы несёт в себе негативный характер: вырезы и углы получаются менее чёткими
Скорость сварки	Скорость соединения тонких металлов значительно выше, однако с увеличением толщины она падает в разы быстрее, чем при сварке плазмой	Плазменный факел уступает лазеру в скорости сварки тонких металлов, но при увеличении толщины соединяемых изделий скорость падает значительно медленнее
Природа свариваемых изделий	- металлы - стекло - пластмассы - керамика	- металлы
Качество сварного шва	Обеспечение минимальных деформаций в области вокруг шва за счёт отсутствия критического нагрева	Относительно меньшая точность и качество сварного шва компенсируются экономичностью при работе с металлами шириной до 150 мм
Стоимость оборудования	От 1 млн. руб и выше	От 100.000 рублей и выше

## Результаты

Данный способ сварки, основные нюансы которого были рассмотрены в статье, в условиях импортозамещения можно использовать в массовом производстве.

Уровень общественного прогресса и быстро растущая в сложившейся ситуации

## Заключение

Главные достоинства данного метода сварки заключаются в следующем:

– увеличение скорости сварки (речь идет об увеличении скорости, превосходящей обычное арифметическое сложение скоростей);

– отсутствие зависимости от оптических свойств поверхности;

– проводится очистка поверхности металлов алюминиевых сплавов от пленки окиси  $Al_2O_3$ ;

– преобразование теплопроводного режима в режим глубокого проплавления обеспечивается понижением температуры поверхности ванны расплава [12].

На основании выполненного обзора определено, что на сегодняшний день данный метод соединения металлических из-

необходимость в точном оборудовании на частных и государственных предприятиях, являются главными мотиваторами к разнонаправленным исследованиям и их характерным совершенствованиям в области лазерно-плазменной сварки [11].

делий встречается намного реже как в теории, так и на практике ввиду своей узкой специализации на производстве. Научная новизна состоит в том, что в проделанной работе проводится систематизация имеющихся данных плазменной и лазерной сварок, поскольку существующие исследования практически не рассматривают их гибридизацию. Кроме того, в литературе почти что не встречаются труды, посвященные детальному анализу заявленной проблемы. Описанные в статье преимущества гибридной сварки являются убедительным аргументом для развития и последующего введения в широкую эксплуатацию сварочных систем, основанных на принципе совмещенного использования лазера и плазмы.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Забелин А.М., Оришин А.М., Чирков А.М. Лазерные технологии машиностроения. Новосибирск: НГУ, 2004. 142 с.
2. Классификация нержавеющей сталей. URL: <https://nzmetallspb.ru/stanki/klassifikatsiya-nerzhaveyushhih-stalej-i-ih-markirovka.html>.
3. Краснопецев И.В. и др. Оценка технико-экономических показателей различных способов соединения деталей кузова автомобиля // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. 2016. № 3 (37). С. 9-15.
4. Банов М.Д., Масаков В.В., Плюснина Н.П. Специальные способы сварки и резки. Москва: Издательский центр "Академия", 2009. 207 с.
5. Райзген, У. Гибридная лазерно-дуговая сварка под флюсом / У. Райзген, С. Ольшок // Автоматическая сварка: междунар. журн. 2009. № 4. С. 46-51.
6. Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н., Чирков А.М. Гибридные технологии лазерной сварки. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. 52 с.

7. Соломатов В.Б. и др. Плазменная сварка алюминиевых сплавов. *РИТМ: Ремонт. Инновации. Технологии. Модернизация*. 2014. №7 (95). С. 54-55.
8. Соснин Н.А. и др. Выбор параметров плазменной сварки. *Инженерный журнал с приложениями*. 2013. № 12 (201). С. 3-8.
9. Сварка. Резка. Контроль: справ.: в 2 т. / под общ. ред. Н.П. Алешина, Г.Г. Чернышева. – М.: Машиностроение, 2004. Т. 1. С. 133–151.
10. Шиганов И.Н., Шахов С.В., Тарасенко Л.В., Плохих А.И. Влияние скорости лазерной сварки на свойства и структуру алюминиевых сплавов, легированных литием и скандием // *Технология машиностроения*. 2005. № 10. С. 23–28.
11. Пауль К., Ридель Ф. Гибридная лазерная сварка – объединяя усилия. *Фотоника*. 2009. № 1. С. 2-56.
12. Плазменная сварка. *Наука и технологии*. URL: <http://neftegaz.ru/science/view/558-Plazmennaya-svarka>.

## REFERENCES

1. Zabelin AM, Orishin AM, Chirkov AM. Laser technologies of mechanical engineering. Novosibirsk: NSU; 2004.

2. Classification of stainless steels [Internet]. Available from: <https://nzmetallspb.ru/stanki/klassifikatsiya-nerzhaveyushhih-stalej-i-ih-markirovka.html>.

3. Krasnopevtsev IV. Evaluation of technical and economic indicators of various ways to connect car body parts. Science Vector of Togliatti State University. 2016;3(37):9-15.
4. Banov MD, Masakov VV, Plyusnina NP. Special methods of welding and cutting. Moscow: Publishing Center "Academy"; 2009.
5. Reizgen U, Olshok S. Hybrid laser-arc submerged welding. Automatic Welding. 2009;4:46-51.
6. Grigoryants AG, Shiganov IN, Chirkov AM. Hybrid laser welding technologies. Moscow: Publishing House of Bauman Moscow State Technical University; 2004.
7. Solomatov VB. Plasma welding of aluminum alloys. RHYTHM: Repair. Innovations. Technologies. Modernization. 2014;7(95):54-55.
8. Sosnin NA. Selection of plasma welding parameters. Engineering Journal. 2013;12 (201):3-8.
9. Aleshin NP, Chernyshev GG, editors. Welding. Cutting. Control: handbook. Moscow: Mechanical Engineering. 2004;1:133-151.
10. Shiganov IN, Shakhov SV, Tarasenko LV, Plokhikh AI. Influence of laser welding speed on properties and the structure of aluminum alloys alloyed with lithium and scandium. Tekhnologiya Mashinostroeniya. 2005;10:23-28.
11. Paul K, Riedel F. Hybrid laser welding - combining efforts. Photonics. 2009;1:2-56.
12. Plasma welding. Science and Technology [Internet]. Available from: <http://neftegaz.ru/science/view/558-Plazmennaya-svarka>.

### Информация об авторах:

**Магдин Александр Геннадьевич** - кандидат технических наук (2017), старший преподаватель кафедры летательных аппаратов Аэрокосмического института Оренбургского государственного университета, тел. +79128447038, e-mail: [magdin.sasha@yandex.ru](mailto:magdin.sasha@yandex.ru).

**Дюсегалиев Рустем Маратович** – студент Оренбургского государственного университета, Аэрокосмический факультет, 2 курс, тел. +79878976912, e-mail: [dyusegaliev1337@yandex.ru](mailto:dyusegaliev1337@yandex.ru).

**Magdin Aleksandr Gennadyevich** – Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of the Department of Aircrafts of Aerospace Institute at Orenburg State University, phone: +79128447038, e-mail: [magdin.sasha@yandex.ru](mailto:magdin.sasha@yandex.ru).

**Dyusegaliev Rustem Maratovich** – Student of Aerospace Department at Orenburg State University, phone: +79878976912, e-mail: [dyusegaliev1337@yandex.ru](mailto:dyusegaliev1337@yandex.ru).

**Припадчев Алексей Дмитриевич** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой летательных аппаратов Аэрокосмического института Оренбургского государственного университета, тел. +79033671960, e-mail: [apripadchev@mail.ru](mailto:apripadchev@mail.ru).

**Горбунов Александр Алексеевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры летательных аппаратов Аэрокосмического института Оренбургского государственного университета, тел. +79225461343, e-mail: [gorbynovaleks@mail.ru](mailto:gorbynovaleks@mail.ru).

**Pripadchev Aleksey Dmitrievich** - Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Aircrafts of Aerospace Institute at Orenburg State University, phone: +79033671960, e-mail: [apripadchev@mail.ru](mailto:apripadchev@mail.ru).

**Gorbunov Aleksandr Alekseevich** - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Aircrafts of Aerospace Institute at Orenburg State University, phone: +79225461343, e-mail: [gorbynovaleks@mail.ru](mailto:gorbynovaleks@mail.ru).

**Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.**  
**Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.**

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.**  
**The authors declare no conflicts of interests.**

**Статья опубликована в режиме Open Access.**  
**Article published in Open Access mode.**

**Статья поступила в редакцию 21.06.2022; одобрена после рецензирования 29.07.2022; принята к публикации 26.09.2022. Рецензент – Анцев В.Ю., доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Подъемно-транспортные машины и оборудование» Тульского государственного университета, член редсовета журнала «Транспортное машиностроение».**

**The article was submitted to the editorial office on 21.06.2022; approved after review on 29.07.2022; accepted for publication on 26.09.2022. The reviewer is Antsev V.Yu., Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Handling Machinery and Equipment at Tula State University, member of the Editorial Board of the journal *Transport Engineering*.**