



МОБИЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ РУЧНОЙ И МЕХАНИЗИРОВАННОЙ ЛАЗЕРНОЙ СВАРКИ И ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ (Обзор)*

В. Н. БЕРНАДСКИЙ, И. А. РЯБЦЕВ, кандидаты техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Представлен обзор материалов мобильных установок для ручной и механизированной лазерной сварки и обработки конструкционных металлов. Даны описание и краткие технические характеристики установки для очистки металлических поверхностей от краски и других загрязнений, переносных аппаратов для механизированной лазерной сварки стыковых и нахлесточных соединений, установки для лазерной обработки и наплавки.

Ключевые слова: лазерная сварка, лазерная обработка, мобильные лазерные установки, лазерный ручной рабочий инструмент

Последние десятилетия XX века для мирового сварочного производства характеризовались интенсивным развитием и расширением областей применения лучевых источников энергии (в первую очередь лазера) для сварки и обработки конструкционных материалов. Высокая плотность энергии лазерного излучения, широкий диапазон ее регулирования, возможность передачи энергии на значительное расстояние от источника излучения обеспечивают лазеру высокую эффективность и универсальность.

Области применения лазера самые разнообразные — от автомобильной индустрии до микроэлектроники. Лазер как технологический инструмент идеально отвечает развитию автоматизации и увеличению гибкости современного производства.

В настоящее время в промышленном производстве доминируют газовые непрерывные CO₂-лазеры и твердотельные Nd:YAG (неодим-иттриевые) лазеры с ламповой накачкой. Значительно расширяется использование пока еще дорогих, но перспективных Nd:YAG-лазеров с диодной накачкой, а также мощных диодных лазеров в сочетании с оптоволоконными световодами [1].

На применении лазерных источников энергии основаны эффективные технологии резки, «сверления» отверстий, сварки, наплавки, поверхностного легирования, термической обработки и правки, нагрева под формообразование, гравировки и др. Один источник лазерного излучения с оптоволоконным световодом может обеспечивать последовательное выполнение ряда технологических операций, например резки, сварки, термообработки сварного соединения и др.

Как показали маркетинговые исследования фирмы «Optech Consulting» [2], высокую эффективность лазерных технологий и растущие масштабы их промышленного применения убедительно подтверждает увеличение ежегодных продаж лазерных систем и источников для обработки материалов.

Так, в 1999 г. в мире было продано технологических лазеров на сумму 6,5 млрд ДМ. Планируется, что к 2010 г. объем продаж лазерных систем и источников превысит 22 млрд ДМ. К 2001 г. предполагается такой объем продаж промышленных лазеров по различным отраслям промышленности, %: резка и сварка — 45,5; электроника и микроэлектроника — 36,3; поверхностная обработка (гравировка и др.) — 11,4; другие области применения — 6,8.

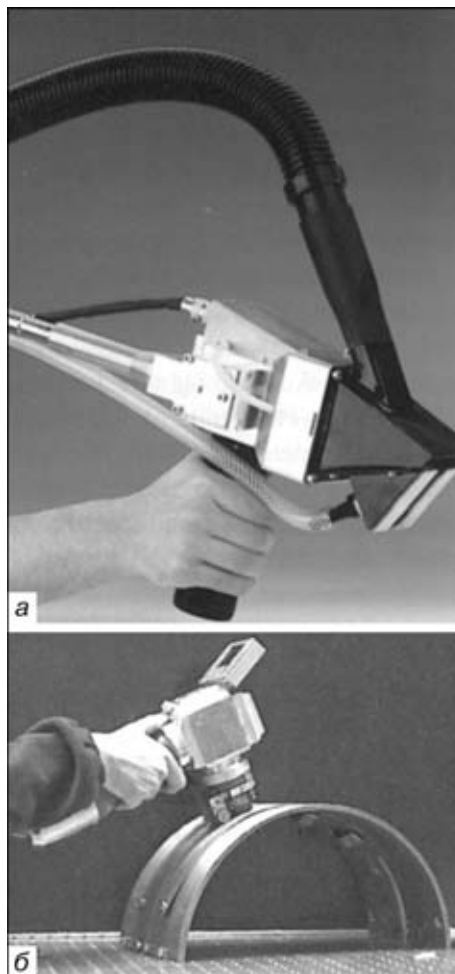


Рис. 1. Ручной инструмент мобильной лазерной установки для очистки поверхностей (а) и сварки (б)

* Перевод статей из немецких технических журналов выполнен М. И. Зыковой.

Выпуск лазерных источников и технологических систем, автоматических центров, роботизированных комплексов и пр. в основном производят фирмы Европы, Японии и США. Среди них доля немецких производителей на мировом рынке лазерных машин и комплексов составляет около 25 % и почти 40 % лазерных источников. Крупнейшие в мире производители технологических лазерных систем — фирмы «Rofin-Sinar» и «Trumpf Lasertechnik». В частности, немецкая фирма «Trumpf Lasertechnik» ежегодно производит более тысячи CO₂-лазеров мощностью до 30 кВт и Nd:YAG-лазеров мощностью до 4 кВт.

Несомненные успехи немецких ученых и специалистов в разработке и внедрении промышленных лазеров и лазерных технологий явились основой для создания мобильных установок ручной и механизированной лазерной сварки и обработки металлов.

Первая публикация о мобильной лазерной установке с ручным рабочим инструментом появилась в 1996 г. [3]. Фраунхоферовский институт лазерной техники в г. Аахене разработал мобильную лазерную установку для очистки поверхности «Clean» (рис. 1, а). Лазерное излучение используется для удаления ржавчины, окалины, краски и других загрязнений с металлических и неметаллических поверхностей, в том числе и со сварных швов.

Установка комплектуется мощным твердотельным лазером, излучение которого по световоду длиной до 100 м передается на рабочий инструмент, который оператор перемещает вручную. Встроенный в рабочий инструмент сканер обеспечивает необходимую ширину обрабатываемой поверхности. Лазер автоматически отключается в тот момент, когда рабочую головку отводят от обрабатываемой поверхности.

В основе лазерной очистки лежит эффект локального испарения поверхностных загрязнений. Кроме того, эти загрязнения удаляются ударной волной, созданной лазерным пучком. Образующиеся пары и частицы из зоны обработки удаляются с помощью встроенной в головку вентиляционной системы, снабженной фильтрами. Для технологии



Рис. 2. Лазерная сварка листовых конструкций с помощью переносного аппарата LHSG-1

лазерной очистки характерны незначительные термическая и механическая нагрузки на основной металл.

По мнению авторов [3], компактная конструкция лазерного инструмента, мобильность установки, возможность перемещения рабочей головки по поверхности любой протяженности и конфигурации должны способствовать широкому распространению новой установки в металлообрабатывающих отраслях производства.

На Саксонском машиностроительном предприятии (г. Цвиккау) при сотрудничестве со Среднесаксонским лазерным институтом Высшей школы г. Миттвайда разработан мобильный аппарат с рабочим инструментом для ручной лазерной сварки и обработки (рис. 1, б) [4–6]. Его можно комплектовать твердотельным Nd:YAG-лазером или диодным лазером системы Jold 1000-SAXH-50H (фирма «Jenoptik Laserdiode GmbH», Йена, Германия) мощностью более 1 кВт, который связывается с ручным рабочим инструментом оптоволоконным световодом. Кроме того, в комплект аппарата входят блоки питания и управления лазером, а также система охлаждения.

Указанный рабочий инструмент имеет массу 1,5 кг и перемещается вручную. С его помощью можно сваривать листы из конструкционной и нержавеющей сталей и титана. Волновой спектр диодного лазера особенно приемлем для сварки алюминия, поэтому мобильный аппарат используется для сварки различных сплавов из этого металла, в частности в автомобилестроении.

Лазерный ручной рабочий инструмент снабжен сменной оптикой, с помощью которой можно изменять как фокусное расстояние, так и плотность его излучения на обрабатываемую поверхность в пределах $(0,2 \dots 1,0) \cdot 10^5$ Вт/см². Оптоволоконный световод обеспечивает равномерный профиль сечения лазерного пучка, что упрощает технологию сварки листов встык без разделки кромок. Лазерным пучком управляет микроконтроллер, анализирующий выходной сигнал в зависимости от скорости перемещения горелки сварщика. При изменении скорости перемещения производится корректировка мощности лазерного пучка, что способствует получению сварного соединения необходимого качества. Для отклонения лазерного пучка внутри горелки

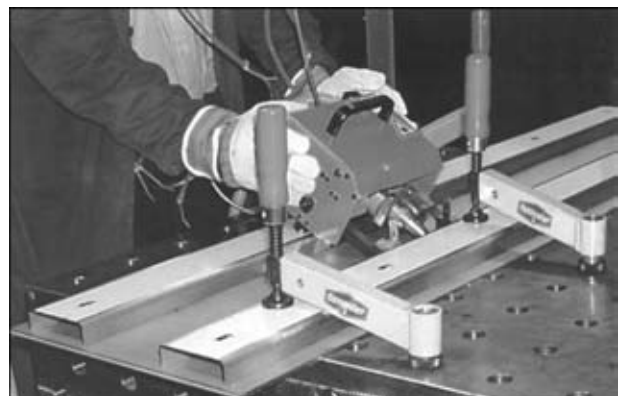


Рис. 3. Лазерная сварка углового шва с помощью переносного аппарата LHSG-2

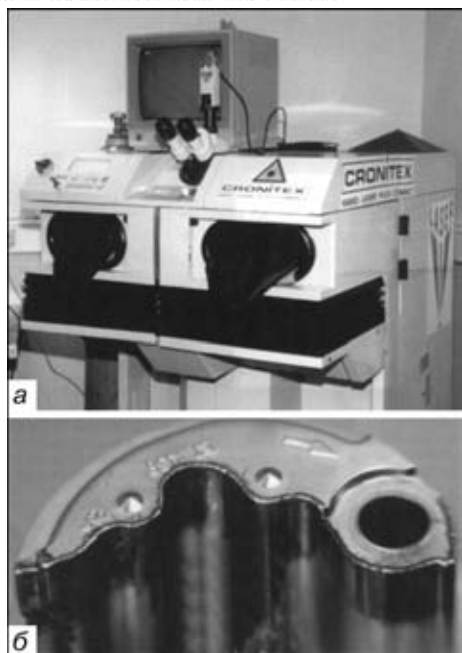


Рис. 4. Установка для ручной лазерной обработки и наплавки (а) и внешний вид наплавленной детали (б)

установлено зеркало, с помощью которого сварщик может также вести наблюдение за процессом.

В конструкцию рабочего инструмента входят функциональные узлы генерирования лазерного излучения и наблюдения за процессом сварки, клавиши управления и предохранительная блокировка, расположенные на рукоятке. Сварочное сопло имеет модульную конструкцию и состоит из собственно сопла, сенсоров, устройства регулирования фокусного расстояния, датчика перемещения и устройства, предохраняющего оператора от излучения.

Переносной блок питания мобильной лазерной установки является принципиально новой разработкой и отличается прежде всего компактностью, быстрым реагированием на различные возмущения и высоким КПД. Такой блок позволяет выбрать параметры сварки и упрочнения различных материалов в постоянном или импульсном режимах.

Компактная конструкция, простое управление процессом лазерной сварки и экономичность позволили разработчикам предложить мобильную лазерную установку в первую очередь малым и средним предприятиям.

Другое конструктивное решение ручного рабочего инструмента в виде своеобразного «утюга» предложено Ганноверским лазерным центром [6]. В сварочном учебно-исследовательском центре SLV (Галле, Германия) разработаны два варианта оригинального переносного оборудования для механизированной лазерной сварки [6–8]. Источником лазерного излучения в нем служит твердотельный Nd:YAG-лазер, связанный с рабочим инструментом оптоволоконным световодом.

Переносной аппарат LHSG-1 (рис. 2) предназначен для лазерной сварки коротких стыковых и нахлесточных соединений и гарантирует высокое качество швов с хорошим формированием. Для сварки тавровых соединений используется переносный аппарат LHSG-2 (рис. 3), который позволяет

оператору производить прихватку и последующую сварку металлоконструкции в машино- и судостроении.

Позиционирование обоих аппаратов производится вручную. Параметры режима сварки задаются специальной программой. Процесс сварки начинается при стационарном положении аппарата, затем сварочная головка передвигается автоматически на установленную длину шва с выбранной скоростью. Сварка производится в защитном газе. Аппараты имеют защитные экраны от лазерного излучения на случай некорректного обслуживания или других непредвиденных обстоятельств.

Традиционная для SLV модульная конструкция аппаратов позволяет удовлетворять требованиям производства. Аппараты могут быть адаптированы к различным фокусирующим головкам.

Технические характеристики установок

Максимальная длина шва, мм60
Скорость сварки, м/мин0,4...2,5
Максимальная мощность лазера, кВт2
Габариты, мм:	
LHSG-1150×230×150
LHSG-2220×240×250
Масса, кг:	
LHSG-15,5
LHSG-23,5

Лазерное излучение используется также для наплавочных работ. В связи с большой номенклатурой восстанавливаемых деталей по типоразмерам и назначению используют различные способы, технику и технологию наплавки [9]. Наплавку в труднодоступных местах во всех пространственных положениях, в том числе на криволинейных поверхностях деталей, производят с использованием автоматизированного оборудования. В случае необходимости многослойной наплавки перед наплавкой каждого следующего слоя предыдущий слой фрезеруется.

С помощью импульсного лазера с ручным позиционированием можно наплавлять небольшие и прецизионные детали, восстанавливать очень тонкие кромки без риска их оплавления, заваривать дефекты наплавки после механической обработки (рис. 4).

Сегодня немецкие производители, включая малые и средние предприятия, значительно увеличивают инвестиции в лазерные технологии. Несмотря на сложность и высокую стоимость лазерного оборудования и технологий их применения в итоге может быть экономически целесообразным, поскольку обеспечивает увеличение производительности сварки и более высокое качество продукции.

Правительство Германии оказывает содействие промышленности в освоении новых технологий. Так, Федеральное министерство образования, науки, исследований и технологий приняло целевую национальную программу на 1998–2002 гг., направленную на широкомасштабное освоение стационарной и мобильной лазерной техники, а также различных лазерных технологий. В рамках этой программы создана сеть региональных экспериментально-консультативных центров (EBZ). За прошедшие три года для более 3700 мелких и средних немецких промышленных предприятий были проведены бесплат-

ные консультации и выполнены эксперименты по применению лазерной резки, сварки и обработки при производстве конкретных изделий. Для персонала фирм, организованы свыше 830 тематических семинаров, работают учебные курсы. Малые промышленные и ремесленные предприятия, уже применяющие лазерные технологии, при необходимости могут получить через EBZ консультации компетентных специалистов-экспертов [10]. Такой подход к освоению прогрессивной лазерной техники и технологии позволяет ожидать дальнейшего расширения масштабов и областей их применения в производстве сварных конструкций и изделий.

1. *Brandt M.* Industrial lasers: from CAD design to rapid laser manufactured product // *Australasian Welding J.* — 2000. — 45. — P. 8–11.
2. *Wachsender* Weltmarkt für Lasermaschinen // *Schweißen und Schneiden.* — 2000. — № 9. — S. 496.

The paper presents a review of mobile units for manual and mechanized laser welding and treatment of metals. Description and brief specification of a unit for cleaning metallic surfaces from paint and other contamination, portable units for mechanized laser welding of butt and overlap joints and of a laser surfacing unit are given.

3. *Мобильная* лазерная система для очистки поверхности // *Ibid.* — 1996. — № 11. — S. 848.
4. *Мобильный* аппарат для лазерной сварки // *Ibid.* — 2000. — № 4. — S. 193–194.
5. *Handgeführtes Fügen: Laser-Bearbeitungskopf für mobiles Laserschweißen* // H. Exner, J. Drechsel, S. Klotzer, V. Neumann // *Laser-Prax.* — 1999. — № 3. — S. 14–15.
6. *Keitel S.* Manuelles Laserstrahl-schweißen-Entwicklungsperspektiven und Standard Anwendung // «Hochleistungs-fuegeverfahren-7» Inter. Aachener Schweißtechnik Kolloquium, Aachener, Deutschland, 3–4 Mai, 2001. — 2001. — Bd. 1. — S. 145–159.
7. *Laserstrahl* «Handschweißgerät» LHSG-1 // *Techn.-inf.* — Halle: Berichte-SLV, 2000. — 2 s.
8. *Laserstrahl* «Handschweißgerät» LHSG-2 // *Techn.-inf.* — Halle: Berichte-SLV, 2000. — 2 s.
9. *Фолрат К.* Восстановление штампов и штамповой оснастки с использованием лазерной наплавки // *Practiker.* — 2000. — № 9. — P. 350–354.
10. *Lasermarkt* wächst bis zum Jahr. 2000 auf 2 Mrd. US \$ // *Blech Rohre Profile.* — 1995. — 42, № 9. — S. 528.

Поступила в редакцию 21.03.2001