

ЛАЗЕРНАЯ СВАРКА ТОНКОЛИСТОВЫХ СТАЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПЕЦИАЛЬНЫХ ПРИЕМОМ

В. Д. ШЕЛЯГИН, В. Ю. ХАСКИН, кандидаты техн. наук, А. В. СИОРА, А. В. САХАРНОВ,
Е. И. ГОНЧАРЕНКО, инженеры (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Рассмотрены преимущества лазерной сварки с применением различных технологических приемов, включающих дополнительную подачу присадочной проволоки, нанесение на свариваемый металл тонких слоев флюса, уменьшение фокусного расстояния объектива, введение импульсно-периодической модуляции излучения.

Ключевые слова: лазерная сварка, тонколистовые стали, специальные приемы, флюс, присадочные проволоки, фокусное расстояние, непрерывное и импульсно-периодическое излучение, скорость сварки, микроструктура, микротвердость

В современной промышленности экономически развитых стран большое распространение получает лазерная сварка [1], в частности, сварка тонколистовых (до 1,5...2,0 мм) сталей. Например, при сварке листовых заготовок из сталей различных марок и толщин для штамповки автомобильных корпусов [2]. В отечественной промышленности также возникают задачи сварки крупногабаритных изделий из тонколистовых нержавеющей и углеродистых сталей без их термомодеформаций. Например, сварка крупногабаритных конических диффузоров из нержавеющей стали толщиной $\delta = 0,8$ мм для пищевой промышленности, объемных конструкций для интерьеров магазинов и др. Решение таких задач традиционными способами сварки либо невозможно, либо затруднено. Одним из способов, позволяющим решать возникающие проблемы, является лазерная сварка. Однако она предъявляет определенные требования к условиям стыковки свариваемых кромок [3] (особенно в случае сварки тонколистовых изделий). Кроме того, при обычной лазерной сварке могут наблюдаться такие явления, как утонение сварного шва, образование пор и внутренних полостей, подрезов, вскипание металла в верхней части шва (особенно при сварке с высокими скоростями кипящих и нераскисленных сталей). Примером может служить стыковое соединение (рис. 1), выполненное лазерной сваркой со скоростью 340 м/ч (мощность излучения 3 кВт, фокусное расстояние объектива 300 мм). Технологи-сварщику необходимо использовать различные дополнительные приемы для облегчения подготовительных сварочных операций, упрощения конструкций технологической оснастки, надежного устранения указанных дефектов сварных швов.

Была сконструирована необходимая оснастка для сварки тонколистовых сталей лазерным способом и отработаны специальные технологические приемы, направленные на улучшение формирования сварных швов, приближение их механических свойств к аналогичным свойствам основного ме-

талла, снятие жестких требований к подготовке свариваемых кромок, снижение мощности лазерного излучения, повышение скорости сварки. К таким приемам относятся традиционно сварочные (применение флюсов и присадочных проволок), связанные с особенностями лазерного излучения как источника нагрева (использование различных фокусирующих объективов, импульсно-периодической модуляции излучения), а также сочетание лазерного нагрева с плазменным, дуговым или высокочастотным (гибридные и комбинированные способы сварки). Последняя группа является достаточно перспективной, так как позволяет частично заменять мощность лазерного излучения мощностью более дешевых тепловых источников (например, электродуговых) при сравнительно небольших изменениях качества процесса [3]. В данной статье исследовали только первые две группы специальных приемов.

Исследования по лазерной сварке тонколистовых сталей проводили на технологическом лазере ЛТ-104 (мощность излучения до 10 кВт) [4]. Сварку вели при помощи «летающей оптики», установленной на двухкоординатном манипуляторе. Образцы размером 300×100 мм закрепляли в специальной струбине. Их изготавливали из низкоуглеродистых (Ст05кп, Ст08кп, Ст3кп) и нержавеющей (08Х12Н9Т2, 12Х18Н10Т) сталей с $\delta = 0,1; 0,8; 1,0; 1,25; 1,5; 2,0$ мм. Сварку проводили, используя однокомпонентный флюс (TiO_2) встык и внахлест с защитой углекислым газом (для низкоуглеродистых) сталей или аргоном (для нер-

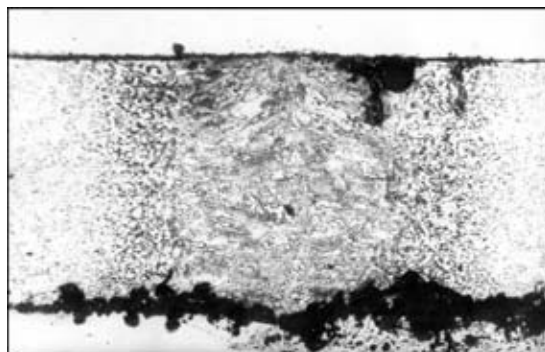


Рис. 1. Микроструктура сварного соединения стали Ст08кп, выполненного лазерной сваркой без использования дополнительных приемов, $\times 63$

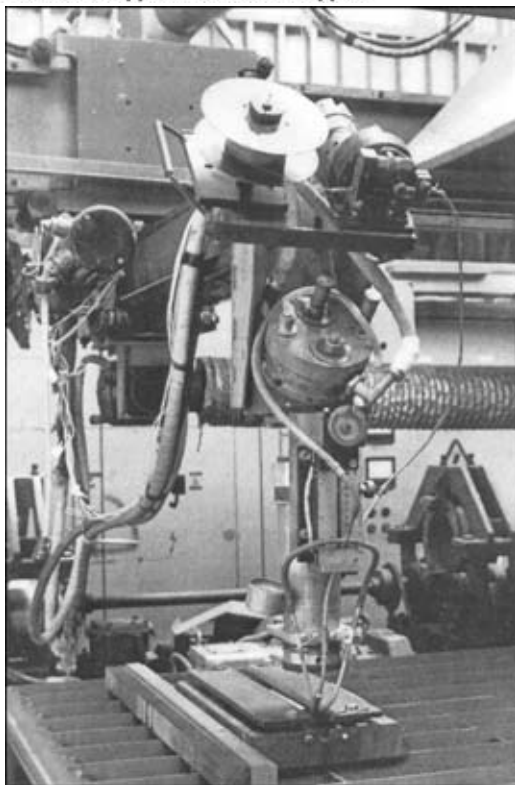


Рис. 2. Общий вид сварочной головки для лазерной сварки с подачей присадочной проволоки

жавеющих) с использованием присадочных проволок Св-08Г2С и 12Х18Н10Т ($\delta = 0,8$ мм) и без них (рис. 2). Для сварки с подачей присадочной проволоки была изготовлена сварочная головка (рис. 2). Во всех случаях мощность сфокусированного на изделие непрерывного излучения CO_2 -лазера составляла порядка 3 кВт. Было установлено, что оптимальная скорость подачи присадочной проволоки практически во всех случаях лежит в пределах 90...100 м/ч. При использовании присадки требования к стыковке свариваемых кромок значительно снижаются: допускаются зазоры до 30...50 % δ , депланация до 50 % [5] (последний параметр желательно исключить по эстетическим соображениям).

Для фокусирования лазерного излучения использовали два типа однолинзовых объективов: с фокусным расстоянием $F = 300$ и 200 мм. Перетяжку горловины каустики располагали на половине толщины образца. При использовании объектива с фокусным расстоянием $F = 300$ мм достигнуты скорости сварки $v_{\text{св}}$ до 360 ($\delta = 0,8$ мм) и 120 м/ч ($\delta = 1,5$ мм). В случае использования присадочной проволоки $v_{\text{св}}$ — до 240 м/ч ($\delta = 0,8$ мм). При использовании объектива с фокусным расстоянием $F = 200$ мм получены $v_{\text{св}}$ до 600 м/ч ($\delta = 0,8$ мм) и 300...320 м/ч ($\delta = 1,5$ мм). В случае использования присадочной проволоки $v_{\text{св}}$ до 400 м/ч ($\delta = 0,8$ мм).

Следует отметить, что с увеличением толщины образца ($\delta \geq 3$ мм) применение короткофокусных линз уже не позволяет повышать скорость сварки. Швы, полученные с использованием таких объективов, значительно шире швов с применением более длиннофокусной оптики. Это объясняется умень-

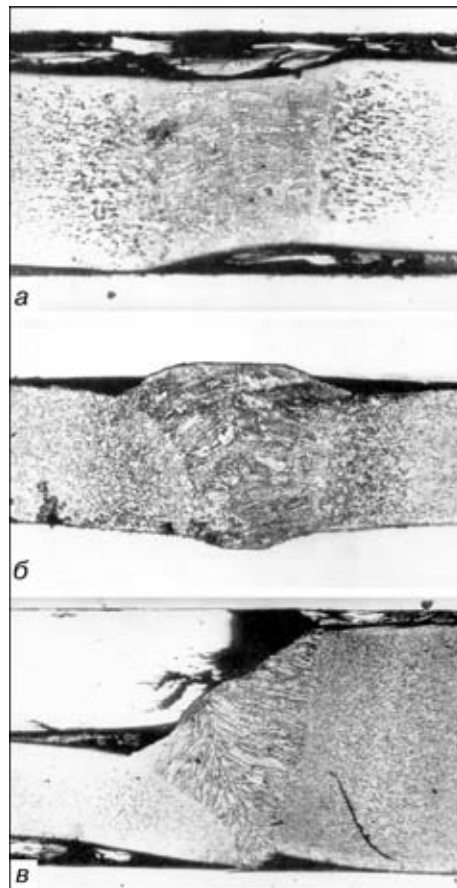


Рис. 3. Микроструктура сварных соединений низкоуглеродистых сталей, выполненных лазерной сваркой, $\times 63$: а — $v_{\text{св}} = 540$ м/ч, $\delta = 0,8$ мм; б — с применением присадочной проволоки Св-08Г2С ($v_{\text{св}} = 420$ м/ч, $\delta = 0,8$ мм); в — сварка разнотолщинного стыка с применением присадочной проволоки ($v_{\text{св}} = 240$ м/ч, $\delta = 0,8$ и 2,0 мм), $\times 32$

шением длины горловины каустики с уменьшением фокусного расстояния [6].

Необходимость применения флюсов вызвана тем, что при достаточно высоких скоростях (400...600 м/ч) не успевает произойти полная дегазация сварочной ванны и в верхней части шва образуются поры. Сварочные флюсы замедляют образование хвостовой части сварочной ванны, легируют ее (раскисляют) и позволяют получать качественные швы. Использование флюса при сварке с высокими скоростями оправдано при нанесении его очень тонким слоем ($< 0,1$ мм), плотно сцепленным с образцом. При относительно толстых и неплотно сцепленных слоях мощность излучения поглощается во флюсе и не успевает передаться металлу. Так, для надежного раскисления сварочной ванны и устранения пор на образцы (Ст5кп и Ст08кп) наносится флюс (основа TiO_2), вяжущий компонент — клей «Суперцемент» (слой порядка 0,5 мм). При использовании объектива $F = 200$ мм для $\delta = 0,8$ мм $v_{\text{св}} = 420$ м/ч, для $\delta = 1,25$ мм $v_{\text{св}} = 300$ м/ч.

Устранение порообразования при лазерной сварке с высокими скоростями возможно не только путем применения флюсов, но и легированием сварочной ванны с помощью присадочных проволок. Их использование оправдано при сварке низкоуглеродистых сталей ($v_{\text{св}} > 400$ м/ч), а также

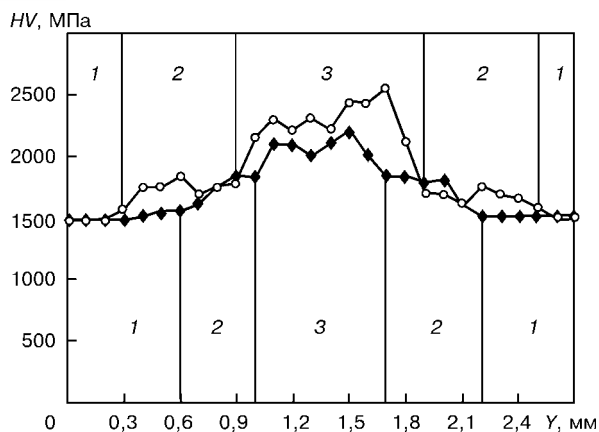


Рис. 4. Распределение микротвердости HV в направлении Y , перпендикулярном плоскости сваренного стыка, на середине образца для случая высокоскоростной лазерной сварки (\blacklozenge) и лазерной сварки с присадочной проволокой (\circ): 1 — основного металла; 2 — металл ЗТВ; 3 — сварной шов

при наличии неустраняемых зазоров стыковки свариваемых кромок. Основным недостатком использования присадочных проволок является необходимость повышения мощности лазерного излучения для повышения скорости сварки. В связи с этим представляет интерес использование дополнительного источника мощности в виде комбинированной с лазерным излучением дуги плавящегося электрода.

Сварку особотонких сталей желательно проводить импульсно-периодическим лазерным излучением. При этом значительно уменьшается размер зоны термического влияния (ЗТВ), повышается стабильность процесса, устраняется опасность прожогов [7]. Так, для сварки нержавеющей фольги $\delta = 0,1$ мм можно рекомендовать следующий режим: защита — аксиальная подача аргона, фокусное расстояние объектива $F = 300$ мм, диаметр пятна излучения на поверхности изделия 0,6 мм, средняя мощность излучения 190...200 Вт, пиковая — 500...600 Вт, частота следования импульсов 200 Гц, скважность 2,5...3,0, $v_{св} = 360$ м/ч.

Металлографические исследования сварных швов и металла ЗТВ проводили по микрошлифам образцов с использованием оптического микроскопа «Neophot-32» ($\times 25...600$) и твердомера М-400 МВК-Е фирмы «Лесо» при нагрузках 0,01...10,0 Н. Для выявления микроструктуры швов в низкоуглеродистых сталях использовали холодное химическое травление 4 %-м спиртовым раствором азотной кислоты, а в нержавеющей — электролитическое травление в растворе хромовой кислоты. Исследования результатов сварки стали Ст05кп ($\delta = 0,8$ мм) показали следующее.

При лазерной сварке без использования специальных приемов ($v_{св} = 540$ м/ч) ширина шва составляет 0,705 мм, ширина металла ЗТВ 0,214...0,277 мм. Структура металла шва представляет смесь феррита ($HV 1850$ МПа) и перлита ($HV 2200$ МПа). Небольшая часть феррита имеет видманштеттову структуру. В металле ЗТВ структура ферритно-перлитная. Количество перлита значительно, что, вероятно, связано с высокими скоростями охлаждения при лазерной сварке (при

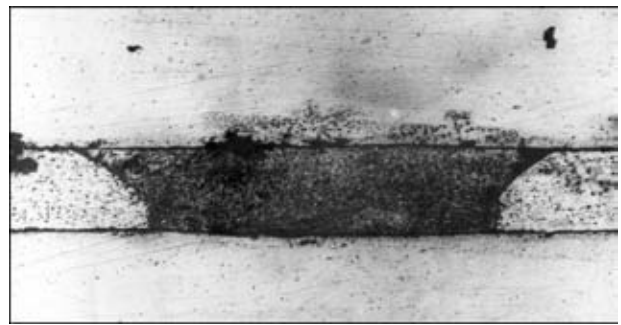


Рис. 5. Микроструктура шва, полученного импульсно-периодической лазерной сваркой нержавеющей стали ($\delta = 0,1$ мм), $\times 156$

высоком охлаждении образуется псевдоэвтектоид, который содержит меньшее количество углерода, чем перлит, образующийся в условиях замедленного охлаждения) [8]. Размер ферритного зерна 8...7 баллов (согласно ГОСТ 5639-82).

При лазерной сварке с использованием присадочной проволоки Св-08Г2С ($\delta = 0,8$ мм) $v_{св} = 420$ м/ч, ширина шва 0,882 мм, ширина металла ЗТВ 0,441...0,567 мм. Структура металла шва феррито-перлитная ($HV 1680$ МПа — феррит; $HV 1850...2010$ МПа — перлит), встречаются участки феррита, имеющего видманштеттову структуру, а также участки игольчатой структуры вероятно бейнитной ($HV 2240...2290$ МПа). В металле ЗТВ структура ферритно-перлитная. Количество перлита несколько большее, по сравнению с предыдущим образцом. Размер ферритного зерна 7...8 баллов.

Поперечное распределение микротвердости в средней части показанных на рис. 3, а, б сварных швов приведено на рис. 4. Результат применения присадочной проволоки показан на рис. 3, б, в. Сравнив рис. 3, а и б, видно, что присадочная проволока устраняет провисание швов, создает необходимое усиление верхнего валика. Небольшой загиб сваренных кромок в области шва — результат действия гильотинных ножиц, с помощью которых были изготовлены образцы (отсутствовала дополнительная подготовка кромок). Структура швов в нержавеющей стали $\delta = 0,1$ мм показана на рис. 5.

Выводы

1. Исследованы технологические особенности лазерной сварки тонколистовых ($\delta \leq 2$ мм) низкоуглеродистых и нержавеющей сталей:

подача присадочной проволоки со скоростью 90...100 м/ч позволяет легировать металл шва, устраняет поры, подрезы, делает требования к стыковке свариваемых кромок значительно менее жесткими; металл присадочной проволоки создает требуемое усиление;

использование флюсов, нанесенных плотными тонкими слоями, раскисляет металл шва, замедляет остывание хвостовой части сварочной ванны, устраняет поры, улучшает формирование верхнего валика усиления;

уменьшение фокусного расстояния объектива с 300 до 200 мм позволяет увеличить скорость сварки тонколистовых сталей в 1,5...3,0 раза (выше $\delta = 3$ мм эта зависимость теряется);



введение импульсно-периодической модуляции излучения позволяет получать узкие и мелкодисперсные швы с малой ЗТВ, что может быть использовано при сварке фольг.

2. Металлографические исследования показали, что в случае малого (до 0,3%) содержания углерода в основном и присадочном материале лазерная сварка тонких сталей со специальными приемами (как и обыкновенная лазерная сварка) позволяет получать достаточно прочные и пластичные соединения с мелкодисперсной равноосной феррито-перлитной структурой.

3. Недостатком лазерной сварки с присадочной проволокой является необходимость дополнительных затрат лазерной мощности (10...30%) на ее плавление.

1. Коваленко В. С. Лазерная технология на новом этапе развития // Автомат. сварка. — 2001. — № 12. — С. 4–11.
2. Schneider C., Prange W. Tailored blanks — ein Werkstoff für neue Formen der Konstruktion // Thyssen Technische Berichte. — 1992. — № 1. — S. 97–106.
3. Шелягин В. Д., Хаскин В. Ю. Тенденции развития лазерно-дуговой сварки // Автомат. сварка. — 2002. — № 6. — С. 28–33.
4. Технологический СО₂-лазер ЛТ 104 мощностью 10 кВт / В. П. Гаращук, В. Д. Шелягин, О. К. Назаренко и др. // Там же. — 1997. — № 1. — С. 36–39.
6. Ландсберг. Оптика. — М.: Наука, 1976. — 928 с.
7. Особенности сварки тонколистовых углеродистых сталей импульсно-периодическим излучением СО₂-лазера / В. Ю. Хаскин, С. Ю. Павловский, В. П. Гаращук и др. // Автомат. сварка. — 2001. — № 2. — С. 42–45.
8. Грабин В. Ф. Металловедение сварки плавлением. — Киев: Наук. думка, 1982. — 415 с.

Advantages of laser welding using various technological approaches (feed of an additional filler wire, deposition of a thin flux layer on base metal, decrease in focal distance of the lens, application of periodic-pulsed radiation modulation) are considered.

Поступила в редакцию 24.01.2002 г.



СВАРОЧНЫЙ МОБИЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС КСМ 005

Комплекс предназначен для контактной сварки в полевых условиях непрерывным оплавлением рельсов площадью поперечного сечения от 6500 до 10000 мм² со снятием грата непосредственно после сварки. Комплекс комплектуется сварочной головкой К 920-1.

КСМ 005 выполнен на базе автомобильного шасси МАЗ-6303-040 и имеет комбинированный ход для перемещения по железнодорожной колее, что позволяет ему в короткие сроки прибыть к месту строительства и ремонта железной дороги. В кузове автомобиля расположена электростанция, сварочная машина, насосная станция, шкаф управления, подъемник и другое вспомогательное оборудование.

Технические характеристики сварочного мобильного комплекса КСМ 005

Электростанция ADZ - 360, кВ·А.....	360
Номинальное напряжение электростанции, В.....	400
Частота, Гц.....	50
Продолжительность сварки стыка, не более, мин.....	3
Угол поворота подъемника со сварочной головкой в горизонтальном положении, град.	90
Вылет стрелы подъемника от оси пути, мм.....	3915
Максимальное выдвигание секции со сварочной головкой, мм.....	860
Скорость передвижения по железнодорожной колее, км/ч.....	25
Габаритные размеры, не более, мм.....	10000×2500×3850
Масса снаряженного комплекса, кг.....	25800
Номинальный длительный вторичный ток, кА.....	21,5
Наибольший вторичный ток, кА.....	67
Наибольшая мощность короткого замыкания, кВ·А.....	500
Номинальное усилие осадки при давлении в гидросистеме 21 МПа, кН.....	1000
Мощность при ПВ-40%, кВ·А.....	236
Максимальная скорость осадки, мм/с.....	20



74800, Украина, Херсонская обл., г. Каховка, ул. Пушкина, 109.
Тел.: 33285, 35967; факс: 42590 (код Каховки — 05536, код Украины — 38)
e-mail: info@kzeso.com