



ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГИБРИДНОЙ ЛАЗЕРНО-ДУГОВОЙ СВАРКИ ПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ В СРЕДЕ ЗАЩИТНОГО ГАЗА*

С. ТОМИ, Т. ЗЕФЕЛД (Бремен. ин-т прикладной лучевой технологии, Германия)

При использовании гибридной лазерно-дуговой сварки плавящимся электродом в среде защитного газа особое значение приобретает понимание особенностей взаимодействия двух процессов — лазерной и дуговой сварки плавящимся электродом в среде защитного газа, которые существенно влияют на процесс гибридной сварки. Необходимым условием для эффективного и рационального применения в промышленности этого способа сварки является тщательный учет требований к изготавливаемым изделиям в конкретных областях применения и промышленной среде. Рассмотрено использование гибридной сварки при изготовлении труб и алюминиевых прессованных профилей.

Ключевые слова: гибридная лазерно-дуговая сварка, плавящийся электрод, защитный газ, трубы из нержавеющей стали, железнодорожные конструкции из алюминия, волоконный лазер

Разработка и применение новейших способов сварки таких, как гибридный процесс (далее гибридная сварка) вызваны необходимостью уменьшения капиталовложений и текущих расходов, сокращения продолжительности цикла сварки и повышения качества продукции. Указанный способ сварки впервые был исследован в 1970-х годах. Он характеризуется сочетанием лазерной и дуговой сварки плавящимся электродом в среде защитного газа в одной общей рабочей зоне [1]. К преимуществам гибридной сварки можно отнести существенную стабилизацию процесса сварки, обеспечение более высокой по сравнению с дуговой сваркой скорости сварки и улучшение в некоторых случаях качества швов. Благодаря отмеченному расширяются области применения этого способа сварки, в частности, при сварке материалов большой толщины [2–5]. До недавнего времени для выполнения таких задач в основном использовали CO₂-лазеры мощностью свыше 8 кВт.

Для сравнения, при сварке алюминиевых сплавов с толщиной листа, приемлемой для автомобильной промышленности, достаточно мощности, которую обеспечивают современные Nd:YAG-лазеры (с учетом некоторых ограничений, касающихся скорости сварки). Следовательно, благодаря простоте подведения луча (оптическое волокно вместо систем зеркал, как в случае CO₂-лазеров) и некоторой специфике производства в этой области промышленности чаще всего используют

гибридную сварку с Nd:YAG-лазером [6]. Более того, при разработке серийных установок в настоящее время ориентируются на применение гибридной сварки с Nd:YAG-лазером. Однако использование такого процесса со сравнительно низкой мощностью лазера, как правило, имеет ограничения, связанные с толщиной свариваемого материала. Поэтому этот способ сварки не рекомендуется при изготовлении алюминиевых прессованных профилей для железнодорожных конструкций различной толщины. Возникает необходимость в использовании излучения большей мощности и с более простым подводом луча, что возможно в случае применения высокомошных волоконных лазеров.

Взаимодействия между дугой и лазерным излучением при гибридной сварке. Для того чтобы использовать все преимущества, получаемые при комбинации процессов дуговой сварки плавящимся электродом в среде защитного газа и лазерной сварки, следует оптимизировать различные параметры сварочного процесса. Поскольку такие параметры, как мощность лазера и сварочное напряжение, часто имеют значительное взаимное влияние, необходимо детально изучить механизм их взаимодействия. Наличие взаимодействия между лазерным и дуговым способами сварки плавящимся электродом в среде защитного газа становится очевидным благодаря скоростной видеосъемке. Зафиксировано, что при расположении оси дуги от лазера на расстоянии 9 мм никаких отклонений не происходило (рис. 1).

На первый взгляд, кажется неоправданным использование гибридной сварки при указанных условиях. С одной стороны, предполагается, что для данного пространственного положения дуги преимущества процесса сводятся к влиянию температурного поля, с другой — при расстоянии между дугой и лазером 3 мм, т. е. в условиях реального процесса гибридной сварки, ось дуги

* По материалам Второй международной конференции «Laser Technologies in Welding and Materials Processing», 23–27 мая 2005 г., пос. Кацивели, Крым, Украина.

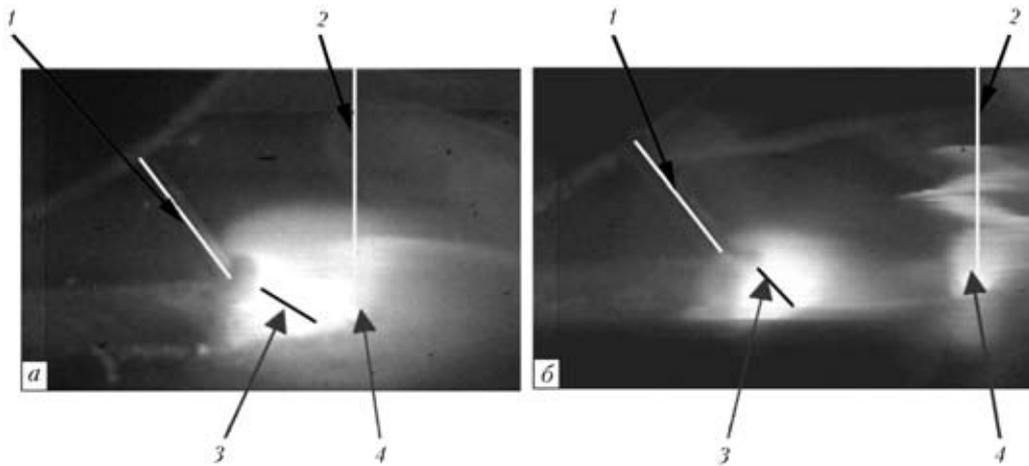


Рис. 1. Влияние лазерного луча на дугу при расстоянии между ними 5 (а) и 9 мм (б): 1 — присадочная проволока; 2 — лазерный луч; 3 — ось дуги; 4 — парогозовый канал

будет существенно отклоняться в сторону парогозового канала, при этом образуется общая рабочая плазма. Таким же образом можно проследить зависимость между мощностью лазера и дуги.

В качестве примера рассмотрим процесс гибридной сварки CO₂-лазером стали, демонстрирующий взаимодействие между лазером и дуговой сваркой плавящимся электродом в среде защитного газа. В ходе экспериментов (мощность лазера $P_{\text{л}} = 4...9$ кВт, скорость сварки $v_{\text{св}} = 1,8$ м/мин, напряжение на дуге $U_{\text{д}} = 19...30$ В, скорость подачи проволоки $v_{\text{пр}} = 9$ м/мин, защитный газ аргон или гелий) установлено, что увеличение мощности дуги $P_{\text{д}}$ так же, как и мощности лазера $P_{\text{л}}$, способствует снижению частоты короткого замыкания $f_{\text{к.з}}$ и значительно влияет на процесс переноса металла (рис. 2).

Применение гибридной сварки МИГ с CO₂-лазером при производстве труб. В современной производственной установке для продольной неп-

рерывной сварки труб трубопроводов из нержавеющей стали используют CO₂-лазер мощностью 8 кВт. В Бременском институте прикладной лучевой технологии разработали, сконструировали и протестировали сварочную головку (рис. 3), которая может использоваться в обоих процессах сварки. При этом большое внимание уделено тепловым нагрузкам, возникающим под воздействием непрерывных сварочных циклов продолжительностью несколько часов. Эти нагрузки вызваны не только дугой, но и лазерной плазмой, а также обратным отражением лазерного луча от сварочной ванны.

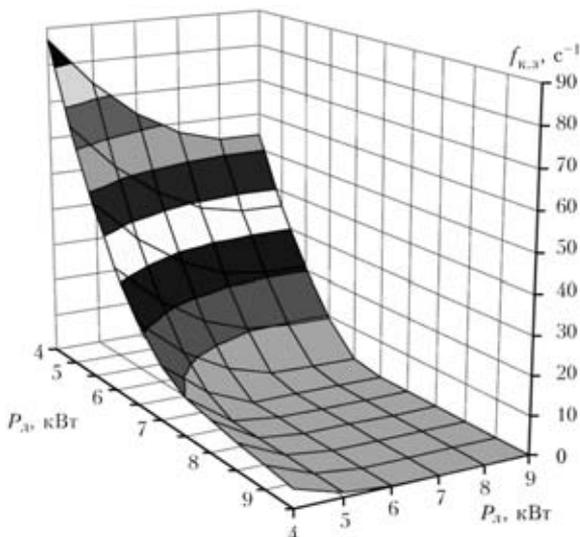


Рис. 2. Влияние мощности лазера $P_{\text{л}}$ и мощности дуги $P_{\text{д}}$ на частоту короткого замыкания $f_{\text{к.з}}$

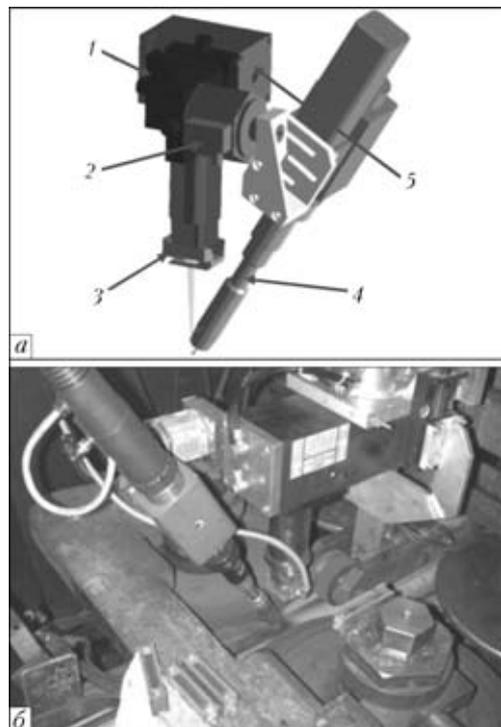


Рис. 3. Сварочная головка, используемая при гибридном процессе сварки CO₂-лазером, в проектном (а) и промышленном (б) исполнении: 1 — блок регулировки; 2 — противоударная система; 3 — пересекающая струя; 4 — газовая горелка для дуговой сварки плавящимся электродом в среде защитного газа; 5 — фокусирующее зеркало

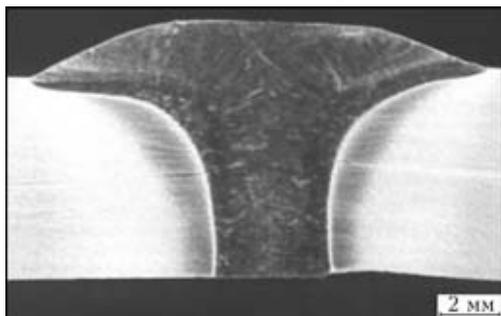


Рис. 4. Поперечные сечения сварного шва в стенке трубы (Ду 273x5 мм), полученного гибридной сваркой

В ходе производственных испытаний процесса изготовления трубопроводов (Ду 273x8 мм) из стали 12 % Сг–4,5 % Ni–1,5 % Мо сварку выполняли со скоростью 1,2 м/мин, мощность лазера составляла до 7 кВт, а мощность дуги — до 8 кВт. Такая скорость сварки по сравнению с обычной электродуговой сваркой может увеличить общую производительность процесса производства труб более чем на 300 %. Она обеспечивается не столько непосредственно сварочным процессом, сколько качеством формирования металла шва. Рентгеновская дефектоскопия показала 100%-е отсутствие в нем дефектов (трещин, пор и пр.). На рис. 4 представлено поперечное сечение сварного шва, выполненного гибридной сваркой в стенке трубы Ду 273x5 мм.

На основе изложенного выше становится очевидным, что, если процесс гибридной сварки осуществлять в производственных условиях с помощью оборудования, спроектированного для ду-

говой сварки, то скорость сварки не будет решающим фактором для уменьшения продолжительности сварочного цикла. Возможно, появятся другие критические параметры технологических операций, осуществляемых до и после сварки. Для этого потребуются дополнительные исследования.

Применение гибридной сварки с использованием твердотельного лазера для изготовления железнодорожных конструкций. Гибридная сварка Nd:YAG-лазером широко используется для изготовления алюминиевых прессованных профилей опытных панелей. Сегмент крыши поезда-экспресса (рис. 5) изготавливают из шести алюминиевых прессованных профилей длиной 2 м из сплава Al–Mg–0,7 % Si толщиной 3 мм с использованием присадочной проволоки Al–12 % Si. При этом специальные зажимные механизмы не применяются. При мощности лазера 4 кВт и мощности дуги импульсно-дуговой сварки 3,65 кВт скорость сварки составляла 4 м/мин.

Проведенные эксперименты показали целесообразность использования гибридной сварки Nd:YAG-лазером, особенно при заполнении зазора. В этом случае нет необходимости в специальной подготовке шва, использовании зажимных приспособлений или повышенной точности перемещения сварочной головки. Более того, по сравнению с обычной дуговой сваркой плавящимся электродом в среде защитного газа гибридная сварка Nd:YAG-лазером позволяет увеличить ско-

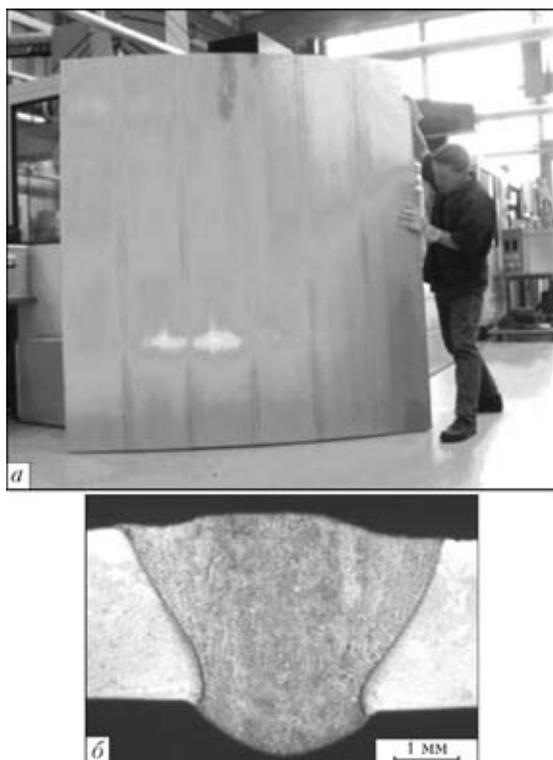


Рис. 5. Сегмент крыши поезда-экспресса (а) и поперечный разрез шва (б)

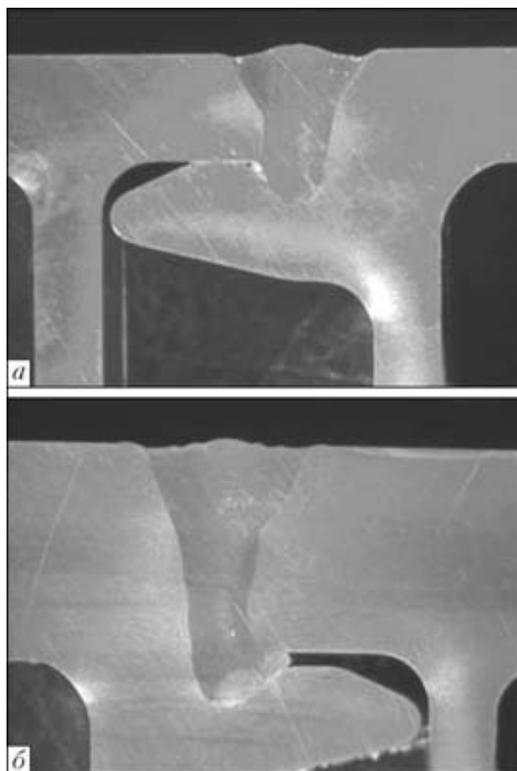


Рис. 6. Макрошрифты (x4) соединений сплава EN-AW 6008 толщиной 4 (а) и 8 мм (б), выполненных гибридной лазерно-дуговой сваркой плавящимся электродом в среде защитного газа с применением волоконного лазера

