



## ПРИМЕНЕНИЕ КОМБИНИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ШВОВ ПРИ СВАРКЕ НЕПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ

Р. Н. РЫЖОВ, канд. техн. наук (НТУУ «Киевский политехнический институт»)

На основе экспериментов произведен сравнительный анализ эффективности применения электромагнитных воздействий с пульсирующим аксиальным и комбинированным магнитным полем для управления параметрами формирования и кристаллизации швов.

*Ключевые слова:* дуговая сварка, неплавящийся электрод, электромагнитное воздействие, магнитное поле, комбинированное электромагнитное воздействие, формирование шва, макроструктура

Эффективность технологий сварки с внешними импульсными воздействиями в значительной степени определяется комплексным улучшением показателей качества швов. При сварке с электромагнитными воздействиями (ЭМВ) в случае применения аксиальных управляющих магнитных полей (УМП) возможно управление гидродинамикой сварочной ванны с целью как дегазации, так и значительного улучшения параметров кристаллизации швов [1]. Однако из-за характерной для данного воздействия преобразования геометрии дуги в конусоподобную форму, сопровождающейся ее рассредоточением как источника нагрева, происходит уменьшение на 20...30 % глубины проплавления. При сварке неплавящимся электродом, характеризующейся строгим регламентированием параметров режима, уменьшение глубины проплавления недопустимо.

Одним из способов сохранения заданной глубины проплавления при сварке с ЭМВ является применение реверсивных пульсирующих магнитных полей с регулированием временных интервалов между импульсами УМП, в течение которых дуга горит в естественном состоянии [2]. Однако при этом для сохранения эффективности ЭМВ на кристаллизацию сварочной ванны необходимо увеличение как индукции УМП в импульсе, что требует увеличения массогабаритных параметров электромагнитов и может снижать стабильность горения дуги, так и длительности интервала реверсирования УМП, что может сопровождаться ухудшением параметров формирования швов.

Другой способ решения указанной проблемы — применение поперечных УМП, создающих объемные электродинамические силы в направлении, перпендикулярном поверхности ванны. Такие ЭМВ позволяют как понижать, так и повышать относительно исходной глубину проплавления [3].

Исходя из того, что применение аксиальных УМП более целесообразно для управления параметрами кристаллизации, а поперечных — для

управления параметрами формирования швов, целью данной работы является определение эффективности применения комбинированных ЭМВ для комплексного улучшения параметров качества сварных соединений.

В ходе экспериментов проплавливали пластины из нержавеющей стали 12Х18Н10Т толщиной 6 мм на следующем режиме:  $I_{св} = 100$  А,  $U_d = 10$  В,  $v_{св} = 10$  м/ч аналогично работе [3]. Аксиальные и поперечные УМП в зоне сварки генерировали с помощью специализированной горелки с шестиполусной электромагнитной системой (ЭМС) [4] путем суперпозиции магнитных полей отдельных ее электромагнитов [3]. Амплитуду и длительности импульсных последовательностей токов через катушки электромагнитной системы задавали с помощью микропроцессорного устройства управления ЭМВ [5].

Комбинированное ЭМВ создавали путем поочередного генерирования в зоне сварки в течение времени  $t_a$  аксиального и  $t_{\perp}$  поперечного УМП. Период воздействия  $t_k = t_a + t_{\perp}$  изменяли в диапазоне 0,05...0,1 с путем регулирования  $t_{\perp}$  в пределах 0...0,05 с при неизменном  $t_a = 0,05$  с, оптимальном для данных условий эксперимента [3]. Следующий период отличался от предыдущего только полярностью аксиального УМП, благодаря чему достигалось реверсивное движение расплава вдоль боковых поверхностей ванны. Индукция обоих реализуемых видов УМП была равной 15 мТл исходя из достигнутых в [3] максимальных изменений параметров формирования швов при ЭМВ с разделением использованием аксиальных и поперечных магнитных полей. В ходе экспериментов отдельно исследовали комбинированные ЭМВ с силовыми воздействиями на расплав, направленными как вниз, так и вверх. При реализации ЭМВ с пульсирующими аксиальными магнитными полями [2] за время  $t_{\perp}$  в зоне сварки индукция обоих используемых видов УМП была равной нулю.

Экспериментально установлено (рис. 1), что применение комбинированного ЭМВ независимо от полярности поперечного УМП, а значит и направления (вертикального вверх или вниз) силового воздействия на расплав позволяет увеличивать на 60...65 % глубину проплавления  $H$  при  $t_{\perp} = 0,02...0,03$  с. Данный эффект можно объяснить

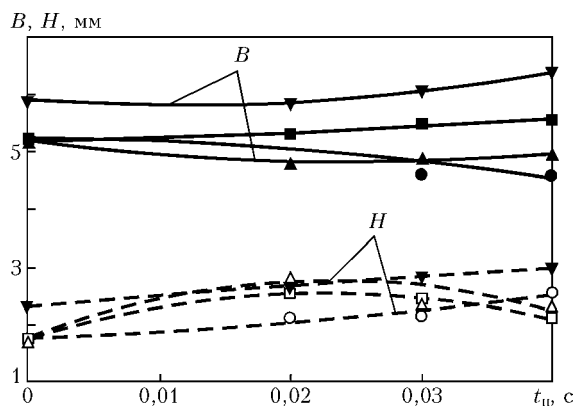


Рис. 1. Зависимость ширины  $B$  (сплошные кривые) и глубины  $H$  (штриховая) швов от времени воздействия поперечного УМП при сварке с комбинированным ЭМВ ( $I_{св} = 100$  А,  $v_{св} = 10$  м/ч): ● и ○ — пульсирующее аксиальное УМП; ■, □ и ▲, △ — комбинированное ЭМВ при силовом воздействии за время  $t_{п}$ , направленном соответственно вниз и вверх; ▼ — то же, но при  $I_{св} = 130$  А,  $v_{св} = 13$  м/ч

оттеснением расплава из-под дуги, в результате чего увеличивается ее проплавляющая способность. Дальнейшее возрастание  $t_{п}$  сопровождалось некоторым уменьшением  $H$ . Это можно объяснить тем, что после достижения потоком расплава хвостовой части ванны формируется его обратная струя, направленная к центру. Для подтверждения этого проведены эксперименты с повышенными на 30 %  $I_{св}$  и  $v_{св}$ , что при неизменном значении погонной энергии позволило увеличить длину хвостовой части ванны. В данных условиях уменьшение  $H$  не наблюдалось и при  $t_{п} = 0,04$  с (рис. 1). При реализации ЭМВ с пульсирующим аксиальным УМП увеличению  $t_{п}$  соответствовало монотонное, однако менее значительное, чем при комбинированном ЭМВ, возрастание  $H$ .

При сварке с комбинированными ЭМВ увеличение ширины швов наблюдали только тогда, когда при  $t_{п}$  силовое воздействие было направлено вертикально вниз (рис. 1). При изменении направления силового воздействия на противоположное с увеличением  $t_{п}$  параметр  $B$  уменьшался. Аналогичные результаты получены при сварке с пульсирующими аксиальными УМП.

Данные экспериментальные зависимости можно объяснить следующим образом. В начале периода  $t_{п}$ , когда аксиальным УМП за время  $t_a$  уже сформирован поток расплава, перемещающийся вдоль одной из боковых кромок ванны, создается силовое воздействие в вертикальном направлении. В случае, когда оно направлено вниз, поток распла-

ва, отразившись от дна, перемещается в сторону ее хвостовой части уже вдоль обеих боковых кромок, уменьшая тем самым толщину жидкой прослойки под дугой, в результате увеличивается глубина проплавления. Одновременно с этим аналогично действию аксиального УМП перемещение потоков вдоль боковых кромок ванны вызывает их «размывание», что приводит к увеличению ширины швов. В случае, когда за время  $t_{п}$  силовое воздействие направлено вверх, вытесненный из-под дуги расплав не перемещается вдоль боковых кромок ванны, а создает вблизи фронта плавления избыточный объем, который в последующий период  $t_a$  переносится в хвостовую часть. При этом ширина швов уменьшается аналогично действию пульсирующего аксиального УМП, когда с увеличением  $t_{п}$  данный параметр формирования приближается к исходным значениям.

Отличие гидродинамики процессов в ванне при комбинированных ЭМВ проявляется в макроструктурах швов. При реализации ЭМВ с пульсирующим аксиальным УМП при  $t_{п} = 0,02...0,04$  с наблюдали структуры швов, незначительно отличающиеся от исходных (рис. 2, а). Комбинированное ЭМВ, при котором за время  $t_{п}$  силовое воздействие направлено вниз, характеризуется постоянным, а не импульсным перемещением из головной в хвостовую часть ванны перегретого расплава. Это приводит к снижению скорости охлаждения центральной области швов, в результате при  $t_{п} > 0,03$  с формируется грубая транскристаллитная структура (рис. 2, б). Наиболее существенное измельчение структуры наблюдали при комбинированном ЭМВ, при котором при  $t_{п}$  силовое воздействие направлено вверх (рис. 2, в). Следует отметить, что в процессе выявления структур, шлифы, изготовленные из образцов данной серии, плохо протравливались, что свидетельствует о снижении уровня химической микронеоднородности. Данное воздействие характеризуется тем, что за время  $t_a$  в направлении хвостовой части ванны импульсно переносятся увеличенные по сравнению с традиционным ЭМВ объемы расплава. По всей видимости при этом происходят не только периодические остановки с заданной частотой фронта кристаллизации, но и частичное оплавление уже сформированных кристаллитов, чем можно объяснить значительное измельчение структуры.

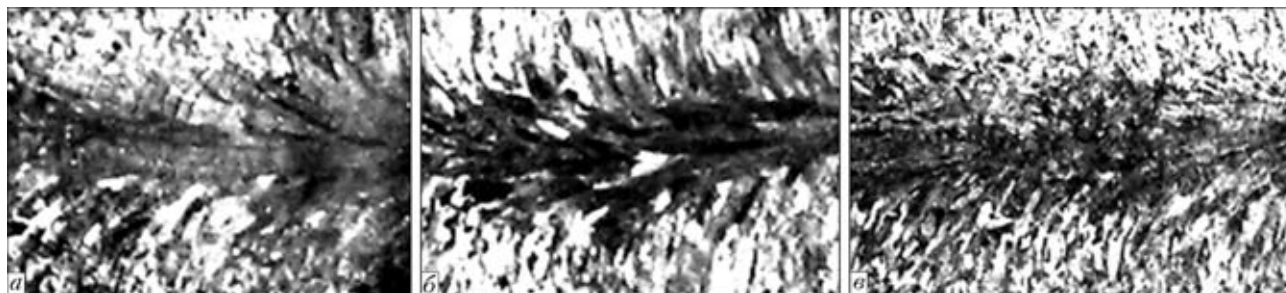


Рис. 2. Макроструктуры швов при пульсирующем аксиальном УМП (а) и комбинированном ЭМВ при силовом воздействии за время  $t_{п}$ , направленном соответственно вниз (б) и вверх (в)



## Выводы

1. При сварке с комбинированным ЭМВ максимальное одновременное улучшение параметров формирования и кристаллизации швов достигается в случае, когда при  $t_{II} \geq 0,02$  с силовое воздействие на расплав ванны, создаваемое поперечным УМП, направлено вверх.

2. Применение комбинированных ЭМВ позволяет полностью компенсировать характерное для сварки с электромагнитным перемешиванием уменьшение глубины проплавления без снижения эффективности воздействия на процессы кристаллизации.

Experiments were the basis to conduct comparative analysis of the effectiveness of application of an electromagnetic impact with a pulsed axial and combined magnetic field to control the parameters of weld formation and solidification.

Поступила в редакцию 02.02.2005,  
в окончательном варианте 08.04.2005

УДК 621.791.04

# СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ТЕРМООБРАБОТКИ ПОКРЫТЫХ СВАРОЧНЫХ ЭЛЕКТРОДОВ\*

М. Ф. ГНАТЕНКО, канд. техн. наук (ООО «ВЕЛМА», г. Киев)

Рассмотрены аппаратные и технологические направления совершенствования термической обработки качественных электродов с целью улучшения сушильных свойств покрытия.

*Ключевые слова:* сварочные материалы, покрытые электроды, сушильные свойства покрытия, направления совершенствования

Термообработка электродов является энергоемким процессом (более 80 % общего объема затрат энергии). Это заключительная и очень «капризная» стадия производства. Неправильный режим термообработки может существенно влиять на качество электродов, вспухание, образование трещин и снижение прочности покрытия.

Исходя из особенностей технологии термообработки электродов пути ее совершенствования можно разделить на две взаимосвязанные группы.

К первой, аппаратной группе относятся: выбор конструкции печи, вида нагрева, метода и способа подвода тепла, т. е. все, что связано с теплоносителем, удалением влаги, управлением режимом процесса термообработки и пр.

Вторая группа технологическая, связанная со свойствами покрытия электродов, а именно: с его сушильными свойствами, степенью связности влаги, сопротивлением структуры покрытия выведению влаги, характером изменения пластично-меха-

1. Сварка с электромагнитным перемешиванием / В. П. Черныш, В. Д. Кузнецов, А. Н. Брискман, Г. М. Шеленков. — Киев: Техніка, 1983. — 127 с.
2. Сохранение глубины провара в условиях электромагнитного перемешивания сварочной ванны / И. В. Малинкин, В. Ю. Поповский, В. В. Сыроватка, В. П. Черныш // Автомат. сварка. — 1971. — № 8. — С. 46–48.
3. Рыжов Р. Н., Кузнецов В. Д., Малышев А. В. Применение шестиполусной электромагнитной системы для управления параметрами формирования швов при сварке неплавящимся электродом // Там же. — 2004. — № 2. — С. 45–49.
4. Пат. 42252АВ 23 К 9/08 Украина. Пальник для зварювання з зовнішніми електромагнітними діями / Р. М. Ришов, О. В. Малишев. — Опубл. 15.10.2001, Бюл. № 9.
5. Пат. 50430 В 23 К 9/08. Спосіб зварювання неплавким електродом з використанням зовнішніх комбінованих керуючих магнітних полів і пристрій для його реалізації / А. А. Тітов, О. В. Малишев, Р. М. Ришов. — Опубл. 15.10.2002, Бюл. № 10.

нических свойств покрытия при нагреве, термоусадочными свойствами и пр.

В части аппаратного оформления печей имеется два типа электродных производств — высокопроизводительные конвейерные и небольшие мелкосерийные производства, в том числе изготавливающие специальные электроды.

Для предприятий с небольшим (до 10 т/смену) объемом производства оптимальным следует признать камерные печи с электрическим (калорифер, ТЭН) или газовым нагревом. В них раскладка электродов происходит на рамки или в кроватках (при влажности менее 2 %), а термообработка осуществляется после их провяливания. При этом необходимо обеспечить интенсивный обдув каждого электрода теплоносителем (лучше всего по его длине) для быстрого и равномерного нагрева и удаления влаги с электродного покрытия. При этом очень важно полностью исключить холостые потоки теплоносителя. В конструкции печей должны быть предусмотрены регулируемые по сечению воздухопроводы для подачи свежего и выброса влажного воздуха.

Скорость нагрева в основном регламентируется только начальной влажностью электродного покрытия, т. е. после провяливания. При влажности менее 4 % скорость нагрева электрода ограниченный практически не имеет, поскольку его покрытие уже достаточно прочное и термоусадочные процес-

\* По материалам доклада, заслушанного на III Международной конференции по сварочным материалам стран СНГ (г. Днепродзержинск, 1–4 июня 2004 г.).