



УДК 621.791.753

ВЛИЯНИЕ ВНЕШНИХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА СТРУКТУРУ И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ШВОВ ПРИ МОКРОЙ ПОДВОДНОЙ СВАРКЕ

Р. Н. РЫЖОВ, канд. техн. наук (НТУУ «Киевский политехнический институт»),
С. Ю. МАКСИМОВ, канд. техн. наук, **Е. А. ПРИЛИПКО**, инж., **В. А. КОЖУХАРЬ**, магистр
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

На основе анализа микроструктур всех зон сварного соединения и химического состава швов определены оптимальные параметры управляющего магнитного поля, обеспечивающие максимальное улучшение механических свойств соединений при мокрой подводной сварке.

Ключевые слова: мокрая подводная сварка, внешнее электромагнитное воздействие, химический состав, микроструктура швов

В работе [1] установлено, что применение внешних электромагнитных воздействий (ЭМВ) в условиях мокрой подводной сварки позволяет повышать прочность и пластичность сварных швов соответственно на 10 и более чем на 60 %, что свидетельствует об улучшении качества сварных соединений. Улучшение механических свойств обусловлено изменениями процессов кристаллизации, что подтверждают микроструктуры образцов, изготовленных из центральных областей швов. На практике хрупкие разрушения чаще всего происходят в металле ЗТВ, где структурные изменения существенны. Снижение на 15 % микротвердости в данной области, достигнутое благодаря ЭМВ, может быть связано с изменениями вторичных микроструктур (последнее предположение требует дополнительных исследований). К тому же актуальным является выяснение возможности изменения химического состава металла швов в условиях мокрой подводной сварки порошковой проволокой с помощью ЭМВ, что также может способствовать улучшению механических свойств соединений. Исходя из сказанного выше, целью данной работы является оценка влияния параметров режима ЭМВ на химический состав и структуру швов и металла ЗТВ.

Образцы для исследований получали в условиях, аналогичных рассматриваемым в работе [1]. Многопроходную сварку образцов из стали 15ХСНД толщиной 14 мм с V-образной разделкой кромок осуществляли на глубине до 1 м порошковой проволокой ППС-АН2 на следующем режиме: $I_{св} = 180$ А (прямой и обратной полярности), $U_{д} = 32$ В, $v_{св} = 7$ м/ч. Реверсивное аксиальное управляющее магнитное поле (УМП) в зоне сварки генерировали с помощью цилиндрического электромагнита, размещенного коаксиально мундштуку. Индукцию УМП B регулировали с помощью блока управления Ф91 [2]. Микроструктурный и спектральный анализ образцов проводили в плоскостях, параллельных поверхности свариваемых пластин.

Установлено, что микроструктура металла швов, полученных при сварке по штатной технологии, представляет собой литую структуру, состоящую преимущественно из верхнего бейнита (рис. 1, а). При сварке с ЭМВ по границам литых кристаллитов образуются ферритные прослойки (рис. 1, б). Применение ЭМВ оказывает существенное воздействие на процесс кристаллизации. Интенсивное перемещение потоков расплава во всем объеме ванны приводит к измельчению дендритной структуры, причем более высокая дисперсность наблюдается при сварке с ЭМВ на токе обратной полярности (рис. 1, б). Это связано с различным энерговыделением в швы и соответствующими изменениями скоростей кристаллизации. Качественно аналогичные результаты ранее были

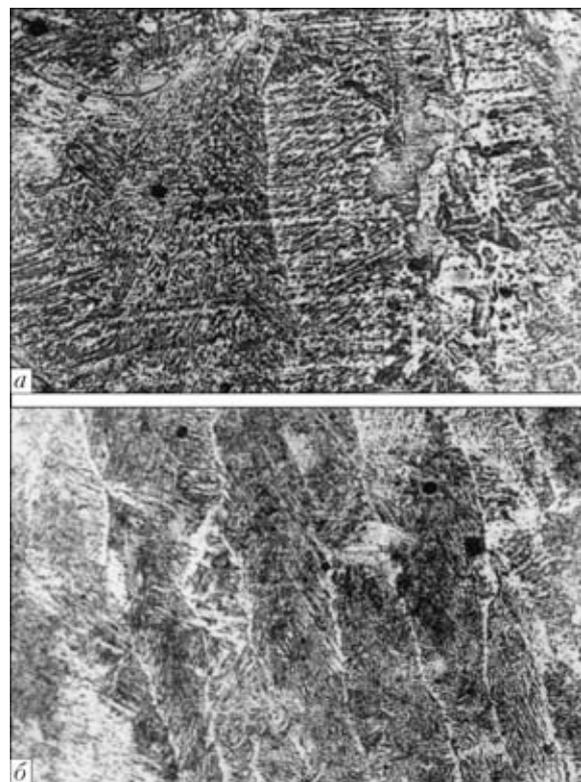


Рис. 1. Микроструктура сварных соединений ($\times 200$), выполненных без (а) и с ЭМВ (б) на токе обратной полярности при $B = 15$ мТл

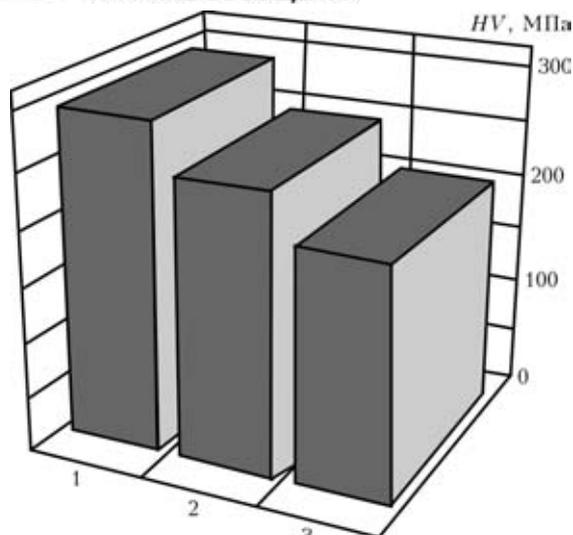


Рис. 2. Влияние величины индукции на микротвердость металла в ЗТВ: 1 — $B = 0$; 2, 3 — 15 мТл соответственно при токе прямой (2) и обратной (3) полярности

получены при сварке с ЭМВ на воздухе конструкционных сталей. В работе [3] измельчение структуры швов в соединениях из данного класса материалов объясняли разветвлением выступающих частей твердой фазы в период импульсного роста с увеличенными мгновенными скоростями. Данный механизм можно применить и для объяснения микроструктурных изменений в швах в условиях мокрой подводной сварки с ЭМВ.

Структура металла ЗТВ представляет собой ферритно-перлитную смесь и также изменяется при использовании ЭМВ в зависимости от значения индукции УМП и полярности $I_{св}$. Так, образцы, полученные при сварке на токе прямой полярности $I_{св}$, характеризуются ориентацией зерен в направлении теплоотвода, перпендикулярном боковой поверхности сварочной ванны. В структуре просматриваются колонии мартенситных игл, что приводит к повышению микротвердости металла ЗТВ [1].

Применение ЭМВ при сварке на токе обратной полярности $I_{св}$ позволяет гомогенизировать структуру металла ЗТВ, повысить ее дисперсность. Мартенсит в металле ЗТВ при индукции УМП $B = 15$ мТл не обнаружен. Это свидетельствует о том, что данный режим ЭМВ характеризуется максимальной интенсивностью гидродинамических процессов в ванне, сопровождающихся периодическими подплавлениями фронта кристаллизации, и уменьшением скорости охлаждения в металле ЗТВ, что подтверждается значениями микротвердости при токе различной полярности (рис. 2).

Таким образом, в условиях мокрой подводной сварки для получения гомогенной структуры, обеспечивающей максимальное улучшение пластичных и прочностных свойств, как в шве, так и в металле ЗТВ, более благоприятной является сварка с применением ЭМВ на токе обратной полярности.

Analysis of microstructure of all the welded joint zones and weld composition was the basis to determine the optimum parameters of the controlling magnetic field, providing maximum improvement of mechanical properties of the joints in wet underwater welding.

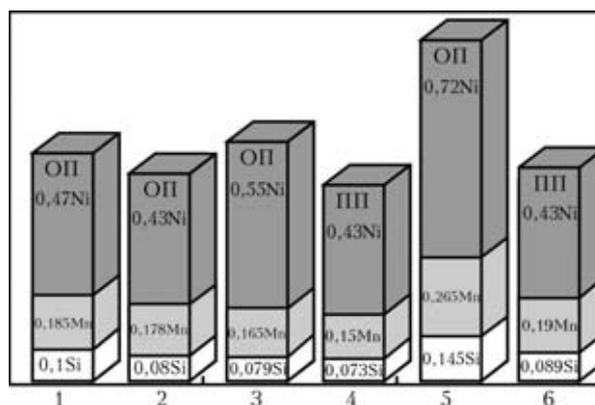


Рис. 3. Изменение процентного содержания в швах легирующих элементов при токе прямой (ПП) и обратной (ОП) полярности: 1, 2 — $B = 0$; 3, 4 — 10; 5, 6 — 15 мТл

Спектральный анализ исследуемых образцов показал незначительные отличия химических составов швов, сваренных по штатной технологии ($B = 0$) и с применением ЭМВ ($B = 10, 15$ мТл), когда индукция УМП не превышала 10 мТл (рис. 3). Однако при токе обратной полярности повышение индукции до 15 мТл сопровождалось увеличением более чем на 50 % содержания в швах легирующих элементов, переходящих из шихты порошковой проволоки. Известно [4], что при сварке с ЭМВ капли на торце электрода принимают форму эллипсоида вращения. При этом с повышением индукции УМП экспоненциально увеличивается теплопередача дуги к электроду и соответственно повышается интенсивность ее расплавления. Указанный эффект способствует увеличению коэффициента перехода элементов из проволоки, что объясняет изменения химического состава швов. Это особенно важно в условиях мокрой сварки, поскольку высокоокислительная атмосфера парогазового пузыря значительно ограничивает возможность легирования металла шва элементами с высоким сродством к кислороду.

Таким образом, применение ЭМВ в условиях мокрой подводной сварки позволяет положительно влиять на химический состав швов, гомогенизировать микроструктуру металла шва и ЗТВ, что является действенным фактором для улучшения пластичных и прочностных свойств сварных соединений.

1. Применение внешних электромагнитных воздействий для улучшения механических свойств швов при мокрой подводной сварке / Р. Н. Рыжов, В. А. Кожухарь, С. Ю. Максимов, Е. А. Прилипко // Автомат. сварка. — 2004. — № 11. — С. 53.
2. Короб Н. Г., Скачков И. О., Матяш В. И. Система управления электромагнитными воздействиями при сварке // Там же. — 1993. — № 11. — С. 52.
3. Якушин Б. Ф., Мисюрюв А. И. Повышение технологической прочности швов при сварке среднелегированной стали с электромагнитным воздействием // Свароч. пр-во. — 1979. — № 12. — С. 7–9.
4. Болдырев А. М., Биршев В. А., Черных А. В. Особенности плавления электродного металла при сварке во внешнем продольном магнитном поле // Там же. — 1991. — № 5. — С. 28–30.

Поступила в редакцию 20.01.2005