



РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ИНДУКЦИИ УПРАВЛЯЮЩЕГО ПРОДОЛЬНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ ПРИ СВАРКЕ ТАВРОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

С. М. СИДОРЕНКО, инж., А. Д. РАЗМЫШЛЯЕВ, д-р техн. наук (Приазов. гос. техн. ун-т, г. Мариуполь),
В. Р. МАЕВСКИЙ, канд. техн. наук (ОАО «Азовмаш», г. Мариуполь)

При сварке тавровых соединений из ферромагнитных сталей продольная компонента управляющего продольного магнитного поля в зоне дуги в 2...3 раза меньше, чем при наплавке на плоскую поверхность. Определены оптимальные размеры соленоида, создающего управляющее продольное магнитное поле, при которых обеспечивается требуемый уровень индукции в зоне сварочной дуги при сварке тавровых соединений из ферромагнитных сталей.

Ключевые слова: дуговая сварка под флюсом, ферромагнитные стали, тавровые соединения, магнитное поле, индукция, соленоид, расчеты, исследования

При автоматической дуговой сварке под флюсом тавровых соединений листовых конструкций из ферромагнитных сталей применение продольных магнитных полей (ПРМП) с целью

управления формированием (формой) шва является проблематичным. Это связано с тем, что магнитные силовые линии ПРМП будут шунтироваться свариваемыми листами, а в зоне сварочной дуги (рис. 1, а, точка 0) продольная компонента индукции поля B_z будет уменьшаться по сравнению с наплавкой на плоское изделие (рис. 1, б).

Для достижения максимальных значений B_z в зоне сопряжения листов таврового соединения (рис. 1, а, точка 0) целесообразно уменьшать наружный диаметр d_n ферромагнитного сердечника соленоида, создающего ПРМП. Внутренний диаметр отверстия в этом сердечнике, предусматривающего прохождение токоподводящего мундштука и электродной проволоки (зачастую также из ферромагнитного материала диаметром $d_s = 3\div 5$ мм), исходя из конструктивных соображений должен составлять не менее 12 мм. В дальнейших экспериментах и расчетах принято постоянным значение $d_n = 12$ мм, диаметр электродной проволоки $d_s = 5$ мм, расстояние от торца электрода до точки 0 (рис. 1, а) $\Delta = 5$ мм. Катушку из медного изолированного провода диаметром 2,0 мм с количеством витков $w = 20$ разместили на сердечнике. В катушке пропускали переменный ток $I = 42$ А с частотой 50 Гц.

Целью настоящей работы явилось исследование уровня индукции ПРМП в зоне сварочной дуги с целью выяснения возможности использования ПРМП для управления формированием шва тавровых соединений из листовых конструкций ферромагнитных сталей, а также определение оптимальных размеров элементов соленоида применительно к сварке указанных соединений.

Расчетные исследования компонент индукции выполняли по методике, описанной в работе [1], а экспериментальные — с использованием миллитесламетра типа Ф4356 с датчиком

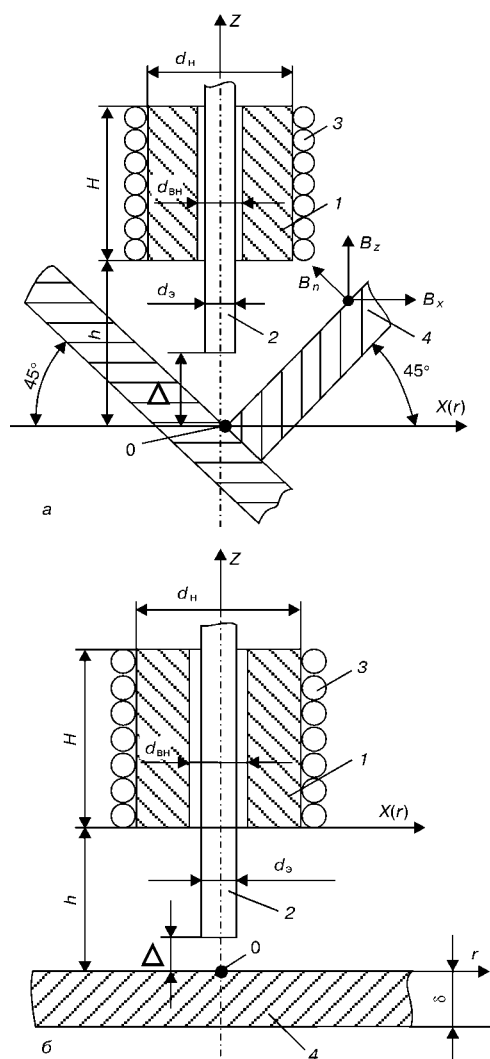


Рис. 1. Схема выполнения таврового соединения (а) и наплавки (б) с применением ПРМП: 1 — сердечник; 2 — электродная проволока; 3 — витки катушки; 4 — изделие

© С. М. Сидоренко, А. Д. Размышляев, В. Р. Маевский, 2002

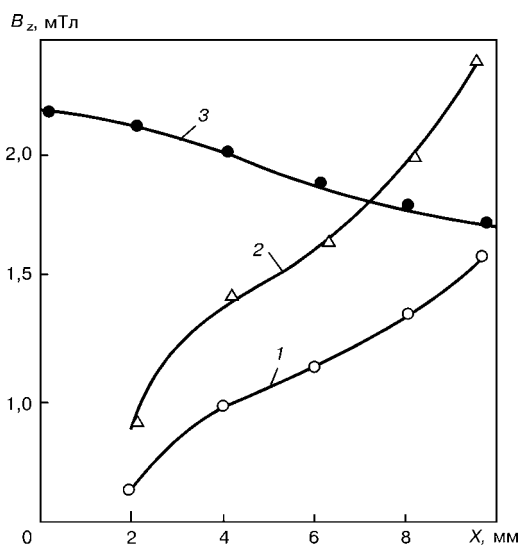


Рис. 2. Распределение индукции ПРМП вдоль оси OX для таврового соединения (1, 2) и плоской пластины (3): 1, 3 — B_z ; 2 — B_n

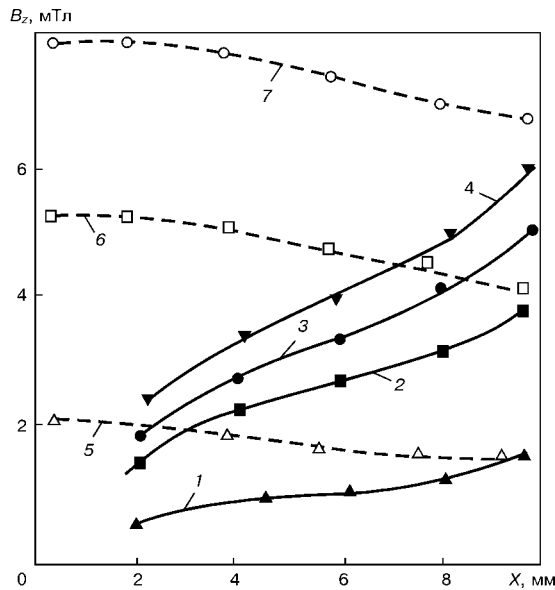


Рис. 3. Распределение компоненты индукции B_z вдоль оси OX при различных значениях d_n ($H = h = 40$ мм): 1-4 — тавровое соединение; $d_n = 20, 30, 40, 50$ мм; 5-7 — плоская пластина, $d_n = 20, 30, 40$ мм

Холла, имевшим измерительную базу 4×4 мм. В исследовании изменяли размеры сердечника: высоту H в пределах $20 \dots 80$ мм, наружный диаметр d_n в пределах $20 \dots 50$ мм, расстояние от торца соленоида до точки 0 в пределах $20 \dots 50$ мм.

Следует отметить, что на рис. 2...4 имело место хорошее совпадение экспериментальных (точки) и расчетных (кривые) данных. По мере увеличения значений координаты X (следует учесть, что соответственно на столько же возрастают значения координаты Z , см. рис. 1, а) компонента индукции B_z возрастает (рис. 2, кривая 1). Аналогично увеличивается и нормальная компонента индукции B_n (измерения выполняли вдоль поверхности пластин) (рис. 2, кривая 2). В этом случае величина горизонтальной компоненты индукции B_x велика (см. рис. 1, а). При использовании в качестве изделия плоской пластины из такой же ферромагнитной стали (Ст3сп толщиной $d = 20$ мм) компонента индукции B_z вдоль OX , находящейся в плоскости диаметрального сечения цилиндрического соленоида, уменьшается (рис. 2, кривая 3). Горизонтальная (радиальная) компонента индукции B_x незначительна [2].

Существенные отличия в строении ПРМП в этих случаях обусловлены значительным шунтированием магнитного поля близкорасположенными пластинами таврового соединения к ферромагнитному сердечнику соленоида и ослаблением индукции B_z в зоне предполагаемого расположения сварочной дуги (ориентировочно при значениях $X \leq 4$ мм). Из рис. 2 следует, что при $X = 4$ мм для таврового соединения $B_z = 1,0$ мТл, а при расположении этого соленоида над плоской пластиной $B_z = 2,0$ мТл, т. е. индукция B_z ослаблена в 2 раза. Для области $X = 2$ мм индукция ослаблена еще больше (в 3 раза).

При увеличении d_n индукция B_z значительно возрастает (рис. 3). Если увеличивать высоту соленоида H (при неизменных ампервитках), то индукция B_z в соответствующих точках (при равных значениях координаты X) значительно уменьшается (рис. 4, кривые 1...3). При увеличении параметра h и неизменных значениях параметра H индукция B_z в соответствующих точках также уменьшается (рис. 4, кривые 4...6). Таким образом, для повышения уровня индукции B_z в зоне дуги при сварке тавровых соединений (из ферромагнитных сталей) следует уменьшать значения параметров H и h , а наружный диаметр d_n увеличи-

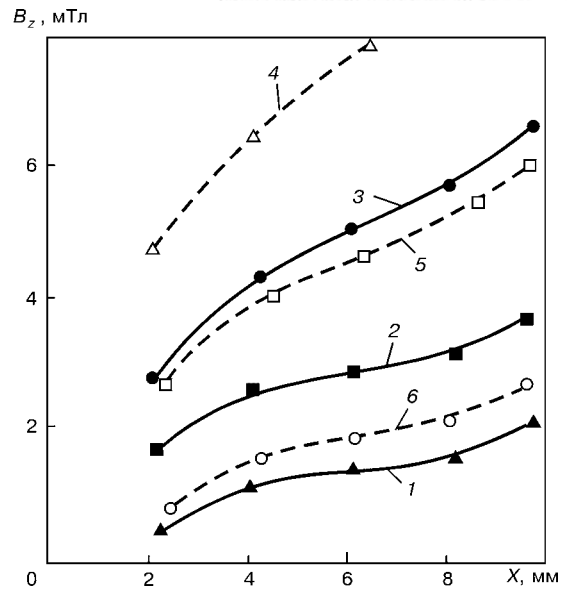


Рис. 4. Распределение компоненты индукции B_z вдоль оси OX ($d_n = 30$ мм): 1-3 — $h = 40$ мм, $H = 80, 40, 20$ мм; 4-6 — $H = 40$ мм, $h = 20, 30, 50$ мм

вать, однако в таких пределах, чтобы витки катушки не замыкались на изделие.

Оптимальными, по-видимому, следует считать величины: $d_n = 30$ мм, $H = 20 \dots 40$ мм, $h = 30$ мм. Если принять $H = 20$ мм, то для $\omega = 20$ (диаметр провода 2,0 мм) необходимо двухслойное исполнение катушки соленоида.

При сварке тавровых соединений несмотря на значительное ослабление компоненты индукции B_z ПРМП только за счет выбора рациональных размеров ферромагнитного сердечника (и катушки) соленоида d_n, H, h можно достичь (при равной намагничивающей силе катушки) такого же уровня индукции B_z в зоне дуги ($X = 2 \dots 4$ мм), который имеет место при наплавке на плоскую пластину (рис. 3, кривые 2, 3, 5).

Выполняли сварку тавровых соединений из стали Ст3сп проволокой Св-12ГС диаметром 5 мм под флюсом АН-348А без воздействия и с воздействием ПРМП с частотой 50 Гц. Сварку пластин (толщина 20 мм) производили на режиме ($I_{св} = 730 \dots 750$ А, $U_d = 27 \dots 29$ В, $v_{св} = 40$ м/ч), при котором формируется шов выпуклой формы [3]. Использовали соленоид следующих размеров: $d_n = 40$ мм, $H = 50$ мм (см. рис. 1, а), намагничивающая сила катушки 3000 ампервитков, вылет электрода $h = 40$ мм. Измеренная продольная компонента индукции ПРМП у изделия под электродом (в точке 0 на рис. 1, а) — 50 мТл.

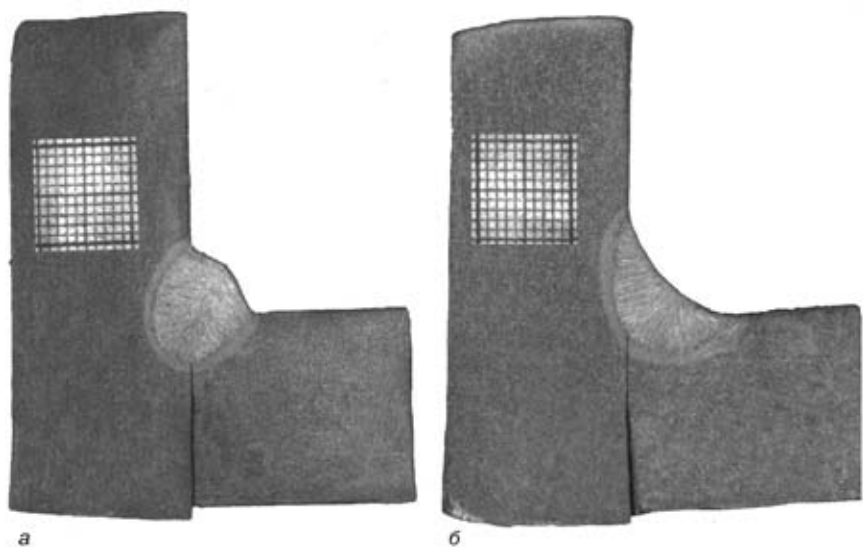


Рис. 5. Макрошлифы тавровых соединений при сварке без воздействия ПРМП (а) и с воздействием ПРМП (б) ($\times 1,5$)



При обычной сварке шов имеет выпуклую форму (рис. 5, а), а при сварке с воздействием ПРМП — благоприятную (с точки зрения уменьшения коэффициента концентрации напряжений) вогнутую форму (рис. 5, б) с плавным переходом шва к основному металлу при отсутствии подрезов.

Таким образом, возможно, использование ПРМП для управления формой швов тавровых соединений. В дальнейшем целесообразно исследовать взаимосвязь параметров ПРМП (индукции, частоты ПРМП) с формой шва, размерами его в сечении и служебными характеристиками тавровых сварных соединений.

Выводы

1. При сварке тавровых соединений из ферромагнитных сталей продольная компонента ПРМП в зоне дуги в 2...3 раза меньше, чем при наплавке на плоскую поверхность.

In welding of T-joints from ferro-magnetic steels a longitudinal component of controlling longitudinal field in the arc zone is 2...3 times lower than that in surfacing on flat surface. Optimum sizes of solenoid generating longitudinal magnetic field are defined at which the required level of induction in the welding arc zone in ferromagnetic steel T-joint welding is provided.

2. Путем выбора оптимальных размеров соленоида при сварке тавровых соединений в зоне дуги можно добиться такого же уровня индукции ПРМП, как и при наплавке на плоскую пластину при равной намагничивающей силе катушки.

1. Размышляев А. Д., Маевский В. Р., Сидоренко С. М. Расчет индукции магнитного поля соленоида с ферромагнитным сердечником применительно к дуговой наплавке // Автомат. сварка. — 2001. — № 8. — С. 22–24.
2. Размышляев А. Д. Влияние магнитного поля на размеры зоны проплавления при наплавке под флюсом // Там же. 1996. — № 8. — С. 25–26, 30.
3. Акулов А. И., Бельчук Г. А., Демянцева В. П. Технология и оборудование сварки плавлением. — М.: Машиностроение, 1977. — 432 с.

Поступила в редакцию 01.10.2001

УДК 621.791.76

УДАРНАЯ СВАРКА В ВАКУУМЕ АЛЮМИНИЯ С МЕДЬЮ

Г. К. ХАРЧЕНКО, д-р техн. наук, Ю. В. ФАЛЬЧЕНКО, В. В. АРСЕНЮК, кандидаты техн. наук, Е. В. ПОЛОВЕЦКИЙ, инж. (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Изучены особенности массопереноса при ударной сварке в вакууме алюминия с медью. Разработан процесс соединения без образования интерметаллидов в стыке.

Ключевые слова: ударная сварка, массоперенос, биметалл, интерметаллид

Биметаллические соединения алюминия с медью имеют высокую теплопроводность, электропроводность и широко применяются в различных отраслях промышленности. Сварка взрывом (в силу ряда специфических особенностей) является одним из наиболее эффективных методов получения медно-алюминиевых переходников. Последующая холодная прокатка, вырезка плоских или штамповка сложной формы композиционных переходников позволяет получить качественные медно-алюминиевые контакты различного назначения [1].

Нахлесточные биметаллические соединения в виде шайб можно изготавливать также диффузионной сваркой в вакууме, что значительно упрощает технологию изготовления медно-алюминиевых контактов. Однако в процессе сварки в стыке образуется сплошная прослойка интерметаллидов, обладающих диэлектрическими свойствами, что обуславливает высокое электросопротивление биметаллического контакта. В связи с тем, что инкубационный период образования интерметаллида при температуре 500 °С не превышает нескольких секунд [2], можно утверждать, что традиционные способы диффузионной сварки не обеспечат формирование соединения алюминия с медью без интерметаллидной прослойки.

Представляется перспективным применить для сварки указанных металлов способ ударной сварки в вакууме (УСВ), при котором время высокотемпературной деформации составляет примерно 10^{-2} с, т. е. значительно меньше инкубационного периода образования интерметаллида. Авторами установлено, что способ УСВ наиболее перспективен для соединения разнородных металлов, имеющих ограниченную взаимную растворимость и малую длительность инкубационного периода образования интерметаллидов. На примерах соединения туполавковых металлов со сталью [3] установлено, что при УСВ на стадии скоростной осадки в стыке протекают интенсивные диффузионные процессы, которые обуславливают формирование

обширной зоны объемного взаимодействия в виде твердых растворов свариваемых металлов без образования интерметаллидов.

Цель настоящей работы состояла в получении нахлесточного биметаллического соединения медь–алюминий в виде шайб без интерметаллидной прослойки в стыке способом УСВ. Сваривали медь М1 и сплав алюминия АД1 в виде заготовок диаметром 30 и толщиной 2 и 4 мм. Перед сваркой заготовки обезжиривали, стыкуемые поверхности шабрили. Сварку заготовок осуществляли на установке У-394М. Параметры процесса УСВ: температура сварки — 500 °С; энергия удара — 2...3 кДж. Для нагрева использовали кольцевые электронно-лучевые нагреватели. Масса ударника и скорость его перемещения обеспечивали необходимую энергию, идущую на образование сварного соединения. В процессе предварительного нагрева образцы меди и алюминия находились в разведенном состоянии (зазор составлял 2...3 мм). Импульсная нагрузка устраняет зазор между образцами и перемещает их в холодную формирующую матрицу, где происходит сварка в твердой фазе с одновременной формовкой биметаллического контакта необходимой конфигурации [4]. Деформация образцов меди и алюминия по толщине составляет соответственно 10 и 40 %, что обуславливает механическое разрушение оксидной пленки на алюминии в процессе сварки. Металлографический и микрорентгеноспектральный анализы сварного соединения показали отсутствие интерметаллидов в стыке. Микротвердость (нагрузка 10 г) меди, алюминия и стыка составляет соответственно 680, 350 и 400 МПа.

Изучали особенности массопереноса при УСВ алюминия с медью. Перед сваркой на медь наносили изотоп ^{63}Ni (толщина покрытия составляла 1...2 мкм). Установлено, что перемещение ^{63}Ni идет в алюминий и медь на расстояние до 50 мкм. Коэффициент массопереноса достигает 10^{-2} см²/с, что еще раз подтверждает ранее открытое явление аномального ускорения диффузионных процессов в твердых металлах при высокоинтенсивном силовом воздействии [5].