

УДК 621.791.75

Размышляев А. Д., Агеева М. В.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ СТЫКОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ ДУГОВОЙ СВАРКЕ С ВОЗДЕЙСТВИЕМ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

В работах [1–2] показано, что при дуговой сварке проволокой под флюсом с воздействием продольного магнитного поля (ПРМП), либо поперечного магнитного поля (ПОМП) повышается производительность расплавления электродной проволоки. В работе [3] показано, что при дуговой наплавке воздействие ПРМП позволяет регулировать глубину проплавления основного металла. Однако, в настоящее время нет исследований о технологических особенностях процесса односторонней сварки стыковых соединений из малоуглеродистых сталей (ферромагнетиков) с воздействием указанных управляющих магнитных полей. Применительно к сварке таких сталей не исследовано влияние управляющих магнитных полей на прочностные характеристики сварных соединений.

Целью настоящей работы явилось исследование влияния управляющих магнитных полей на прочностные характеристики сварных соединений пластин из ферромагнитных сталей при дуговой сварке под флюсом.

Обычно для ввода ПРМП используют устройство ввода (УВ) в виде круглого соленоида с цилиндрическим ферросердечником, размещенное соосно с электродом (рис. 1). Однако, как показано в работе [4], более оптимальной является конструкция УВ ПРМП, приведенная на рис. 2.

Применительно к сварке пластин толщиной $\delta = 4$ мм выполняли исследования распределения индукции B_z вдоль оси X при расположении УВ ПРМП в соответствии со схемой по рис. 2. При этом $\Delta = 5$ мм, $h = 15$ мм, $a = 10$ мм. Использовали проволоку (2) Св-08А диаметром 3 мм. Полагали, что конструкция УВ ПРМП по рис. 2 позволит более эффективно вводить вертикальную (продольную) компоненту индукции B_z в хвостовую часть ванны, чем конструкция УВ ПРМП по рис. 1. Намагничивающая сила обмоток была одинаковой ($I \times W = 2160$) для УВ ПРМП по рис. 1 и рис. 2.

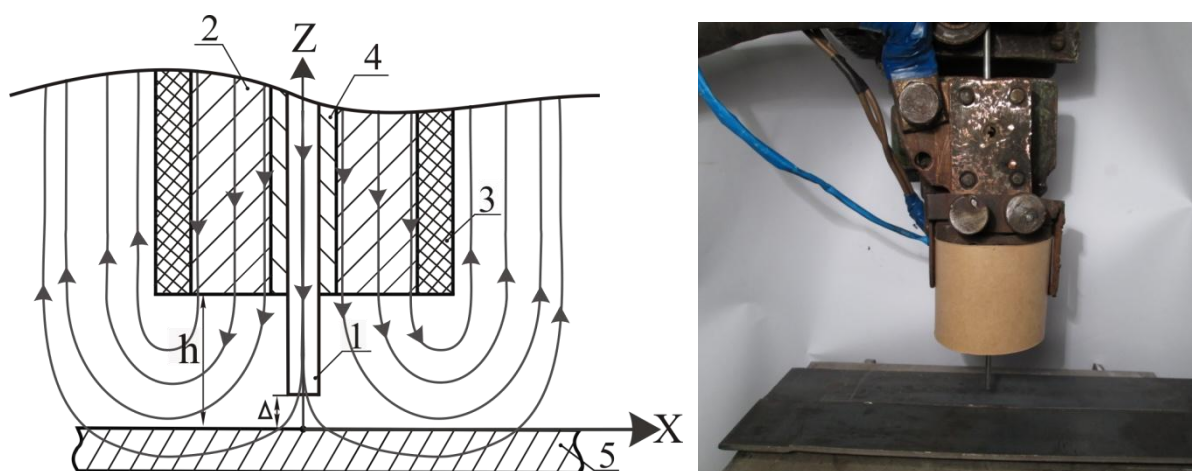


Рис. 1. Конструкция УВ ПРМП (а) выполненного в виде соленоида, а также внешний вид УВ ПРМП (б):

1 – электрод; 2 – сердечник; 3 – обмотка; 4 – мундштук; 5 – изделие (стрелками показаны силовые линии поля)

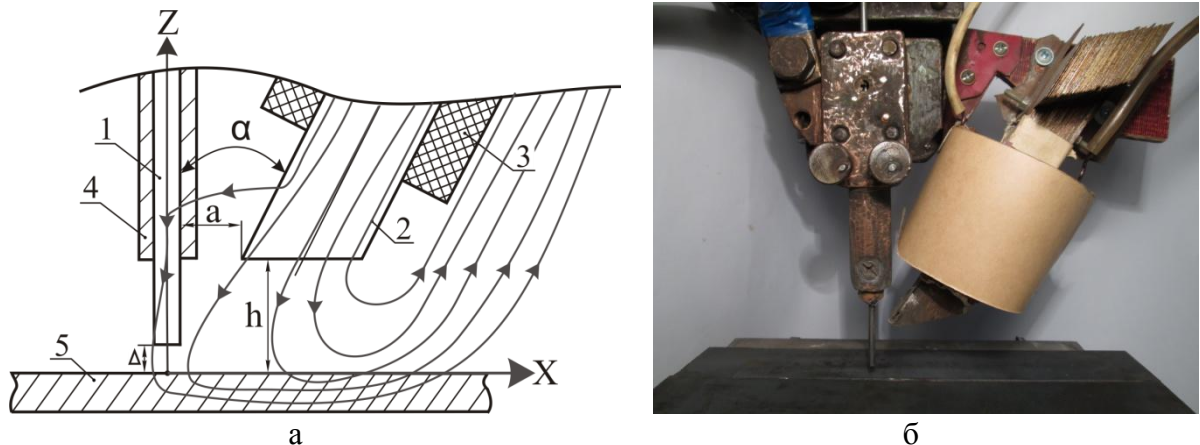


Рис. 2. Конструкция УВ ПРМП, выполненного в виде квадратной формы стержня (а), а также внешний вид УВ ПРМП (б):

1 – электрод; 2 – стержень; 3 – обмотка; 4 – мундштук; 5 – изделие (стрелками показаны силовые линии поля)

Данные исследований показали (рис. 3), что у поверхности основного металла в зоне сварочной ванны конструкция УВ ПРМП по рис. 2 дает более высокие значения индукции B_z (при $X = 5...30$ мм), чем конструкция по рис. 1 (кривая 1). При этом по мере удаления от электрода в хвостовую часть ванны индукция B_z уменьшается (кривая 1), а для УВ ПРМП по рис. 2 – увеличивается (кривая 2), что более благоприятно для управления гидродинамикой сварочной ванны под воздействием компоненты B_z магнитного поля.

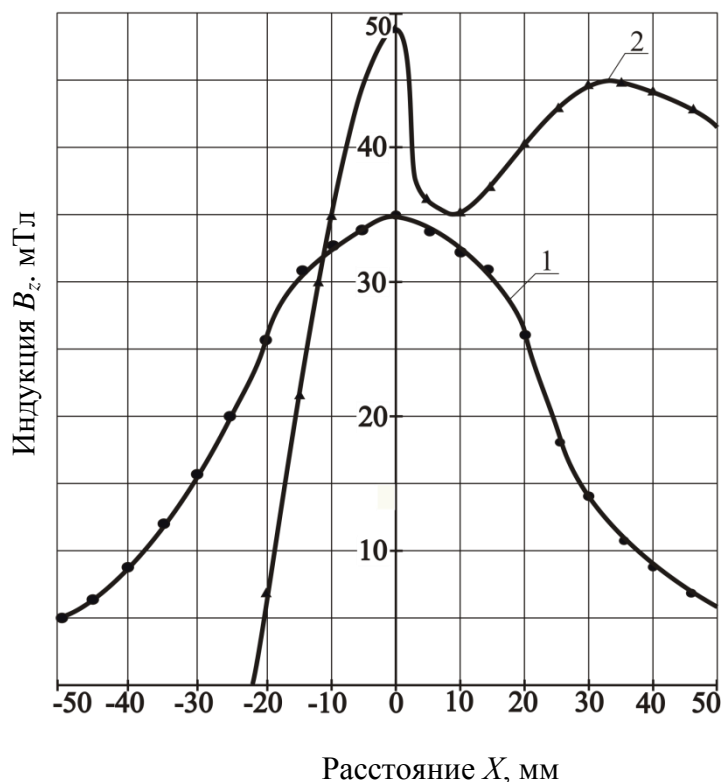


Рис. 3. Распределение индукции B_z у поверхности пластины вдоль оси X: 1 – по рис. 1, а; 2 – по рис. 2, а

Таким образом, для сварки металла со сквозным проплавлением (ферромагнитных материалов) более целесообразно использовать схему УВ ПРМП по рис. 2. В дальнейшем использовали это устройство.

В качестве источника ПОМП использовалось устройство, расположенное над поверхностью сварочной ванны. На рис. 4 показана схема расположения устройства ввода стержней ПОМП относительно направления сварки и схема для исследования индукции магнитного поля.

Устройство содержало (рис. 4) стержни (1) сечением $F_c = 9 \text{ см}^2$, изготовленные из листов электротехнической стали толщиной 0,5 мм, а также из того же материала и поперечного сечения перемычка (2). На стержнях размещены катушки (3), которые выполнены из медной проволоки диаметром 2 мм, число витков катушки $W = 100$. Устройство устанавливали у электрода (5). Расстояние от нижних торцов стержней к поверхности пластин (4) обозначено как параметр h , расстояние от торца электрода к пластинам – Δ .

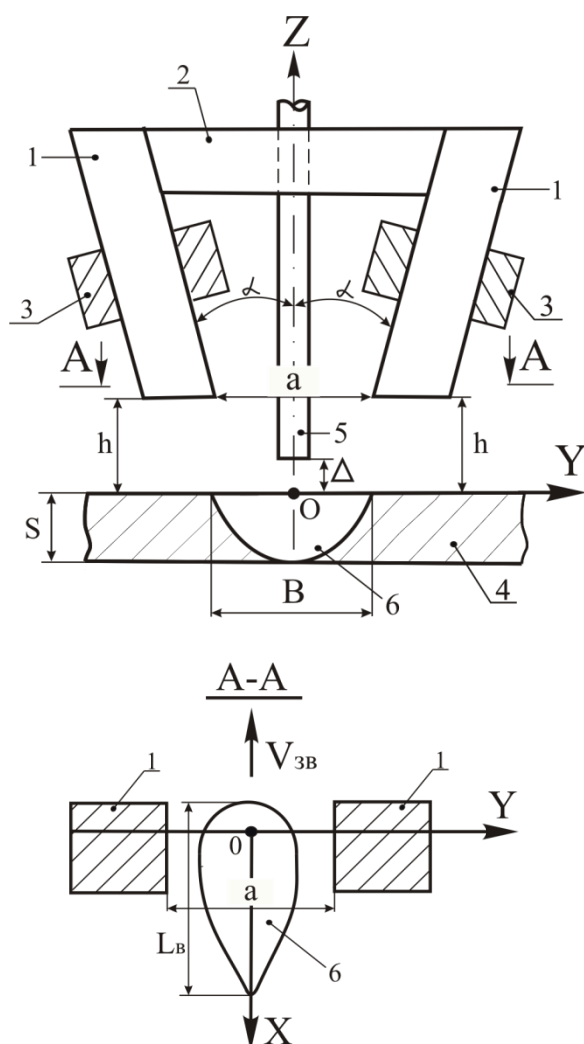


Рис. 4. Схема расположения стержней УВ ПОМП поперек оси шва:

1 – стержни; 2 – перемычка; 3 – катушки; 4 – пластины (основной металл); 5 – электрод; 6 – сварочная ванна

Сварочная ванна (6) получена методом выплеска ее при сварке. Размеры ванны: ширина $B = 18 \text{ мм}$, длина $L_с = 36 \text{ мм}$ (с полным проплавлением пластины толщиной $S = 4 \text{ мм}$). Величина тока в обмотках составляла $I = 30 \text{ А}$. В экспериментах использовали сварочную проволоку из ферромагнитного материала Св-08ГА диаметром $\varnothing = 3 \text{ мм}$.

Измерения индукции при значении параметра $a = 45$ мм, $h = 10$ мм, $\alpha = 45^\circ$ при размещении стержней УВ ПОМП поперек направления сварки (рис. 4) в зоне сварочной ванны поперечная компонента индукции B_y , достигает значений 22 мТл, а продольная компонента индукции B_z фактически имела нулевые значения. Таким образом, при поперечном расположении стержней УВ ПОМП достигается максимальное влияние магнитного поля на жидкий металл сварочной ванны, а также на дугу и электродную каплю. В дальнейшем все исследования выполняли при поперечном относительно оси шва расположении стержней УВ ПОМП.

С целью разработки рекомендаций по выполнению сварки стыковых соединений толщиной 4 мм в производственных условиях выполняли сварку стыковых соединений стали ВМСтЗсп толщиной $S=4$ мм (тип соединения С4 по ГОСТу 8713-79) на флюсо-медной подкладке проволокой Св-08А диаметром 3 мм под флюсом АН-348А. Режим сварки: $I_{св} = 320...350$ А; $U_0 = 32...34$ В, $V_{св} = 30$ м/ч с воздействием ПОМП и ПРМП как постоянных, так и знакопеременных частотой $f = 6; 12; 24; 50$ Гц при величине индукции у поверхности ванны в зоне под электродом $B_y = 25$ мТл (для ПОМП) и $B_z = 25-30$ мТл (для ПРМП). Из сварных соединений вырезали образцы для испытаний на разрушение.

Форма образца соответствовала требованиям ГОСТа 6996-66 (тип XXIV) и приведена на рис 5.

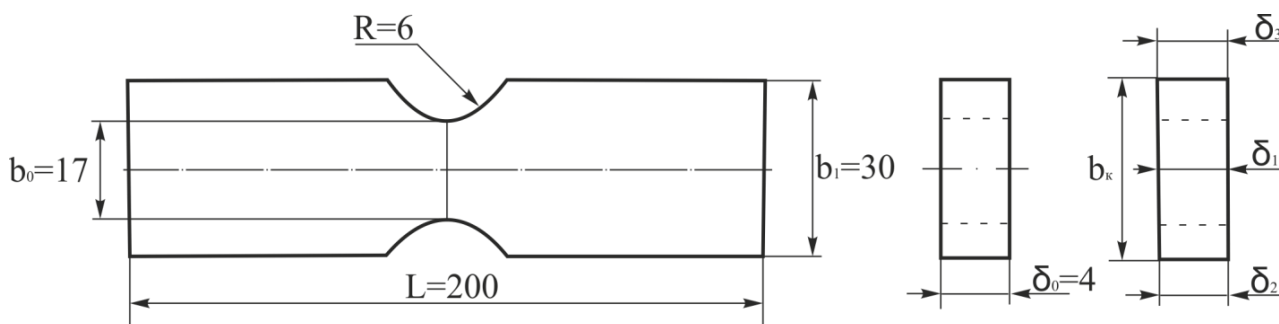


Рис. 5. Вид образца для испытаний

Определяли прочность и пластичность металла шва стыковых соединений при сварке образцов. Испытания проводили на разрывной машине с максимальным усилием 5 т.

После испытаний на разрыв измеряли относительное сужение сварного шва ψ :

$$\psi = \frac{F_0 - F_k}{F_0} \cdot 100\%,$$

где F_k – площадь участка после испытания, см²; F_0 – начальная площадь сварного участка в месте разрушения, см².

После испытаний на разрыв определяли значения предела прочности (σ_b) и относительного сужения (ψ).

Данные исследований показали (средние значения из 3-х образцов), что при сварке с воздействием ПОМП частотой $f = 6$ Гц значения (σ_b) повышается (рис 6, а). Значения ψ сохраняются на уровне 39...38 % до частоты ПОМП 12 Гц включительно (без поля – $\psi = 40$ %). При частотах 24 и 50 Гц показатель ψ снижается соответственно на 20 и 25 % (табл. 1).

Таблица 1

Влияние частоты ПОМП на изменения σ_σ ($\Delta\sigma_\sigma$) и ψ ($\Delta\psi$) сварных соединений

Показатели	Частота ПОМП, Гц			
	6	12	24	50
Изменение σ_σ ($\Delta\sigma_\sigma$), %	+8,25	+11,5	+6,0	+6,0
Изменение ψ ($\Delta\psi$), %	-1	-5,0	-20,0	-25,0

Следовательно, оптимальной является частота ПОМП в пределах 6–12 Гц (при уровне индукции $B_y = 25\text{--}30$ мТл в головной части ванны).

При сварке с воздействием ПРМП значения σ_σ увеличиваются до частоты 24 Гц, а при частоте 50 Гц практически не увеличивались (рис. 7, а). Значения пластичности ψ значительно снижаются при частотах 12, 24 Гц, соответственно на 28 и 45 % (рис. 7, б и табл. 2).

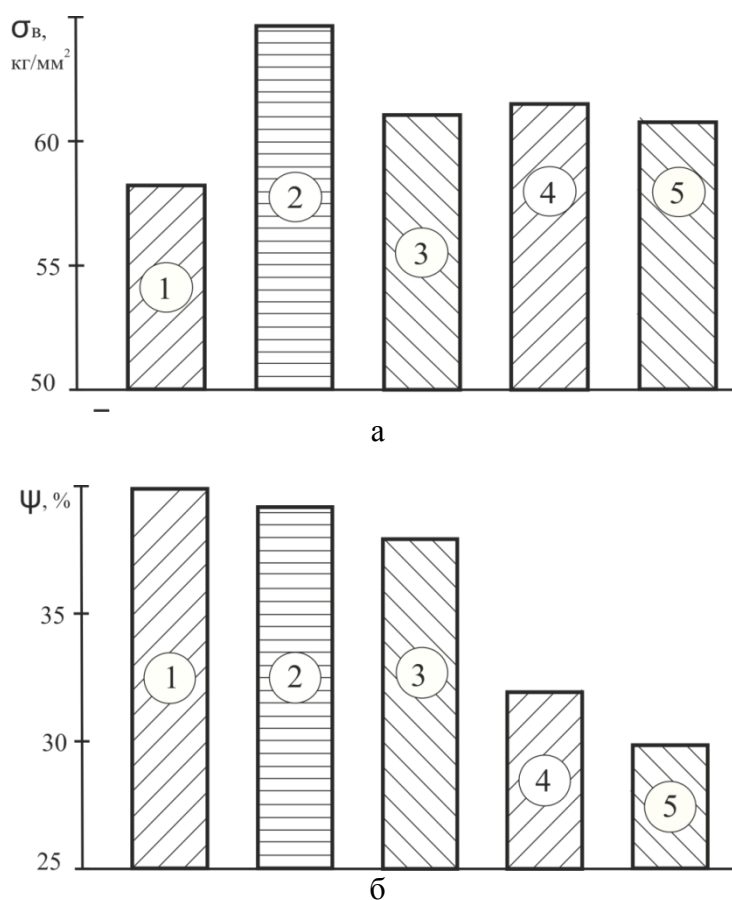


Рис. 6. Влияние частоты ПОМП на показатели σ_σ (а), ψ (б) сварных соединений (С4; $B_y = 25$ мТл):

1 – сварка без ПОМП; 2, 3, 4, 5 – соответствуют частоте $f = 6; 12; 24; 50$ Гц ПОМП

Таблица 2

Влияние частоты ПРМП на изменения показателей σ_σ ($\Delta\sigma_\sigma$) и ψ ($\Delta\psi$) сварных соединений

Показатели	Частота ПРМП, Гц			
	6	12	24	50
Изменение σ_σ ($\Delta\sigma_\sigma$), %	+11,8	+13,6	+16,8	+3,0
Изменение ψ ($\Delta\psi$), %	-10,0	-28,0	-45,0	-15,0

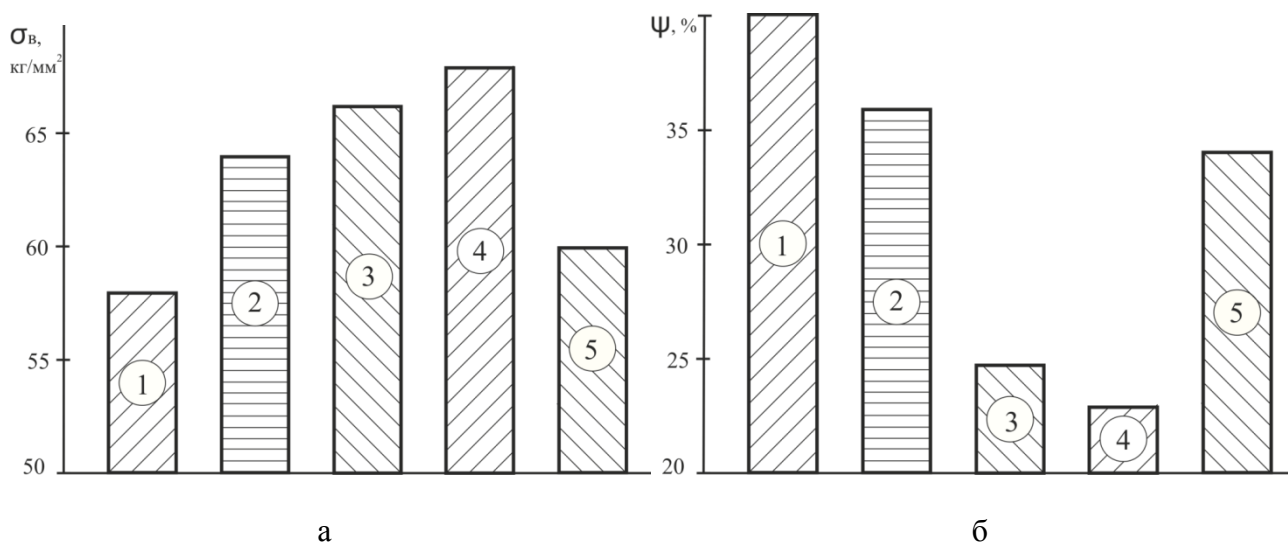


Рис. 7. Влияние частоты ПРМП на показатели σ_b (а), ψ (б) сварных соединений ($B_y = 25$ мТл):

1 – сварка без ПРМП; 2, 3, 4, 5 – соответственно при частоте $f = 6; 12; 24; 50$ Гц

Следовательно, оптимальной является частота ПРМП до 6 Гц при уровне продольной компоненты индукции ПРМП $B_z = 25\text{--}30$ мТл. При сварке с воздействием ПОМП частотой до 12 Гц (включительно), повышаются значения σ_b .

ВЫВОДЫ

1. Использование управляющих магнитных полей при дуговой сварке под флюсом стыковых соединений толщиной 4 мм на флюсомедной подкладке позволило повысить прочность сварных соединений на 11,5% при частоте ПОМП 12 Гц, без снижения показателей пластичности.

2. При сварке с воздействием ПРМП показатель прочности повышается на 11,8 % без заметного снижения пластичности при частоте 6 Гц. При этом также наблюдается улучшение формирования обратной стороны шва.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Размышляев А. Д. Влияние продольного магнитного поля на производительность расплавления проволоки при электродуговой наплавке под флюсом / А. Д. Размышляев, А. А. Дели, М. В. Миронова // Автоматическая сварка. – 2007. – № 6. – С.31–35.
2. Размышляев А. Д., Миронова М. В. Производительность расплавления электродной проволоки при дуговой наплавке под флюсом с воздействием поперечного магнитного поля / А. Д. Размышляев // Автоматическая сварка. – 2010. – № 12. – С. 48–51.
3. Размышляев А.Д. Магнитное управление формированием валиков и швов при дуговой наплавке и сварке / А.Д. Размышляев, М.В. Миронова. – Мариуполь: Изд-во ПГТУ, 2009. – 242 с.
4. Пат. №70785 Україна, МПК (2006.01) В 23 К 9/04, 9/08. Спосіб дугового зварювання і наплавлення плавким електродом у подовжньому магнітному полі / О. Д. Размышляев, М. В. Миронова, П. О. Видмиш, С. В. Ярнонов, заявитель и патентообладатель Приазовский гос. техн. унив-т. – № 20111457; заявл. 06.12.11; опубл. 25.06.12, Бюл. № 12.