

УДК 621.791.75

Размышляев А. Д., Агеева М. В., Бган С. А.

СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОДОЛЬНЫХ И ПОПЕРЕЧНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ПРИ ДУГОВОЙ СВАРКЕ И НАПЛАВКЕ

Использование продольных магнитных полей (ПРМП) и поперечных магнитных полей (ПОМП) при электродуговой сварке и наплавке проволокой под флюсом позволяет повысить эффективность этих процессов. Однако нет публикаций, в которых выполнено сравнение эффективности использования управляющих ПРМП и ПОМП при дуговой сварке или наплавке проволокой под флюсом.

Данные об эффективности использования ПРМП при дуговой сварке и наплавке обобщены в работе [1]. Установлено, что при воздействии ПРМП в процессе дуговой сварки (наплавки) коэффициент расплавления проволок (α_p) диаметром 3; 4; 5 мм возрастает на 20...30 %, если они изготовлены из ферромагнитных материалов. Если проволока из неферромагнитного материала, то α_p при наплавке (сварке) не повышается [1].

Данные об эффективности использования ПОМП при дуговой сварке (наплавке) проволокой под флюсом частично приведены в работе [2]. Показано, что при сварке (наплавке) с воздействием ПОМП также повышается коэффициент расплавления электродной проволоки (порядка на 20...30 % при воздействии постоянного ПОМП), уменьшается глубина проплавления основного металла. Однако, нет сравнительного анализа тех преимуществ, которые достигаются при электродуговой сварке, либо наплавке при использовании ПРМП, либо ПОМП. Такой анализ необходим с целью рационального выбора таких управляющих (внешних) магнитных полей технологами в области сварочного производства с учетом возможностей каждого из указанных магнитных полей, с учетом особенностей свариваемой (наплавляемой) конструкции.

Целью работы является выполнение сравнительного анализа технологических преимуществ, достигаемых при использовании управляющих ПРМП и ПОМП при дуговой сварке и наплавке проволокой под флюсом.

Устройство ввода (УВ) ПРМП представляет собой соленоид с ферромагнитным сердечником 1 и обмоткой (катушкой) 2 (рис. 1), которые устанавливаются соосно со сварочной проволокой 4. Наличие сердечника из ферромагнитного материала, а электрода и изделия из немагнитных материалов, как установлено в работе [3], увеличивает продольную компоненту индукции – B_z у поверхности пластины в 2 раза по сравнению с вариантом, когда нет ферросердечника. В работе [4] показано, что если изделие из ферромагнитного материала, то индукция под торцом электрода (при зазоре $\Delta = 5$ мм) повышается еще в 2 раза. Если же не только изделие – пластина, но и электродная проволока – ферромагнетики, то индукция B_z под торцом электрод (при $\Delta = 5$ мм) повышается не в 2, а в 3 раза и более.

Таким образом, процесс дуговой сварки и наплавки проволокой под флюсом с воздействием ПРМП целесообразно выполнять, если изделие и электродная проволока изготовлены из ферромагнитного материала. Использовать ПРМП целесообразно при однопроходной сварке проволокой под флюсом стыковых соединений пластин из ферромагнитных материалов толщиной до 6...8 мм (на определенной подкладке). Если толщина пластин из ферромагнитных материалов составляет 12 мм (с V-образной разделкой), то для сварки использовать ПРМП не целесообразно, так как на глубине 10...12 мм в стыке (и в сварочной ванне) индукция B_z уменьшается в 6...10 раз по сравнению с ее значением у поверхности свариваемых пластин (в зоне стыка, т. е. V-образной разделки) [4]. При сварке стыковых соединений из немагнитных материалов такое не происходит, индукция B_z в указанной зоне уменьшается незначительно.

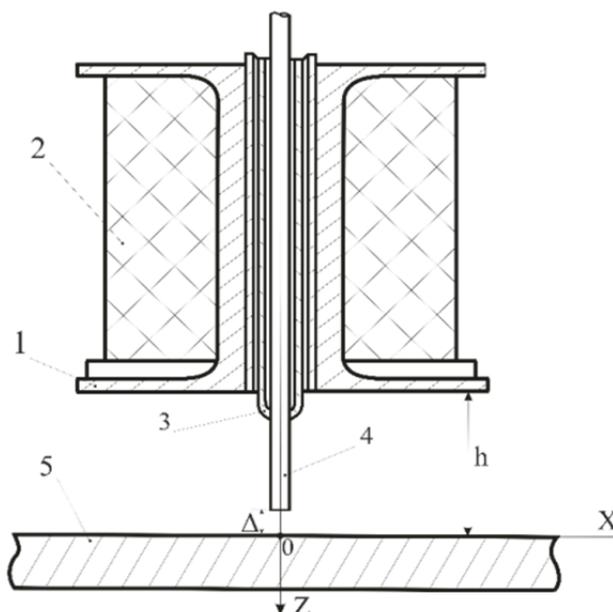


Рис. 1. Устройство для создания продольного магнитного поля:

1 – сердечник; 2 – катушка; 3 – мундштук; 4 – электродная проволока; 5 – изделие

Диаметр (наружный) ферросердечника УВ ПРМП не должен превышать 50 мм [5], так как дальнейшее его увеличение снижает уровень B_z у поверхности как ферромагнитной, так и не ферромагнитной пластины.

При дуговой сварке и наплавке проволокой под флюсом УВ ПОМП располагают над поверхностью сварочной ванны (над свариваемой или наплавляемой пластиной). При этом стержни УВ ПОМП располагают либо вдоль оси шва (рис. 2), либо поперек оси шва (рис. 3). УВ ПОМП содержат стержни (1) сечением порядка 6...12 см² из листов электротехнической стали и перемиčku (2) из того же материала и поперечного сечения (можно и без перемички). На стержнях размещены обмотки (катушки), которые обычно выполняют из медного изолированного провода диаметром 1,2...2,0 мм с числом витков $W = 100...200$. Плоскость УВ ПОМП проходит через ось электрода 5. Имеется возможность регулирования расстояния от нижних торцов стержней до поверхности пластин (4) – параметра h , и расстояния между стержнями – параметра a . Расстояние от торца электрода до поверхности пластины обозначено как параметр Δ . Во всех исследованиях измеряли индукцию у поверхности пластин, когда расстояние $\Delta = 5$ мм (измеряли перед сваркой, либо наплавкой).

При сварке (наплавке) с воздействием как ПРМП, так и ПОМП повышение α_p электродных проволок (до 30 %) обусловлено принудительным удалением (за счет воздействия ПРМП, ПОМП) электродных капель с торца плавящегося электрода. Механизм влияния ПРМП на удаление электродных капель с торцов электродов при сварке подробно изложен в работе [1], а влияния ПОМП – в работе [2]. Следует отметить, что в отличие от действия ПРМП, при сварке (наплавке) с воздействием ПОМП α_p повышается при использовании проволок и не из магнитных материалов. При расположении стержней УВ ПОМП вдоль оси шва и наличии изделия из ферромагнитного материала в зоне жидкого металла имеет место не поперечная компонента индукции, а в основном – продольная компонента индукции B_z . Если изделие из немагнитного материала, то при таком расположении стержней УВ ПОМП удастся избежать наличия продольной компоненты индукции (B_z), если значительное расстояние между стержнями – a (порядка 90 мм). Таким образом, при сварке и наплавке с воздействием такого магнитного поля в зоне жидкого металла сварочной ванны присутствуют 2 компоненты этого поля, и не ясно за счет действия какой из этих компонент индукции индуцируются потоки жидкого металла ванны.

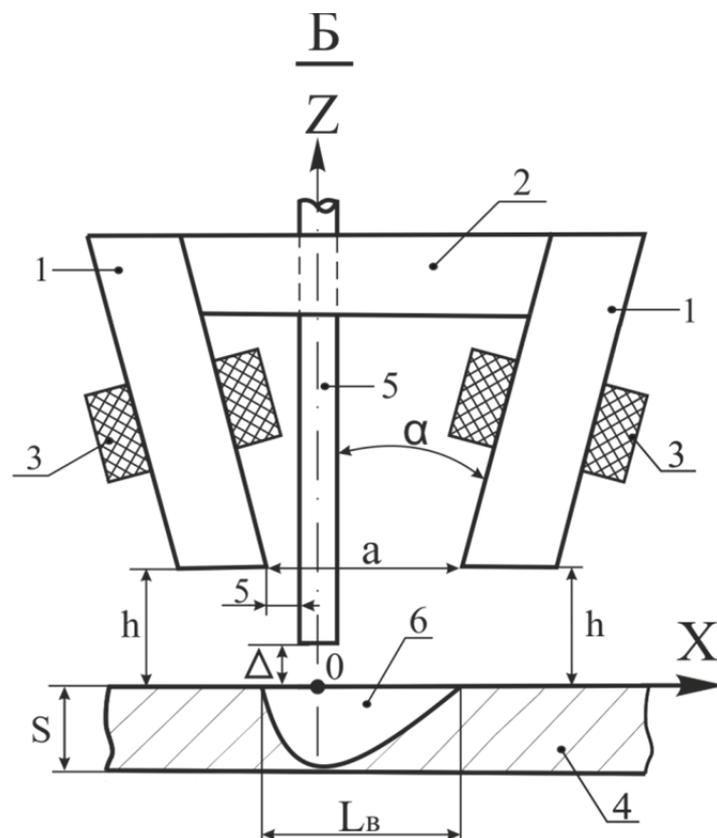
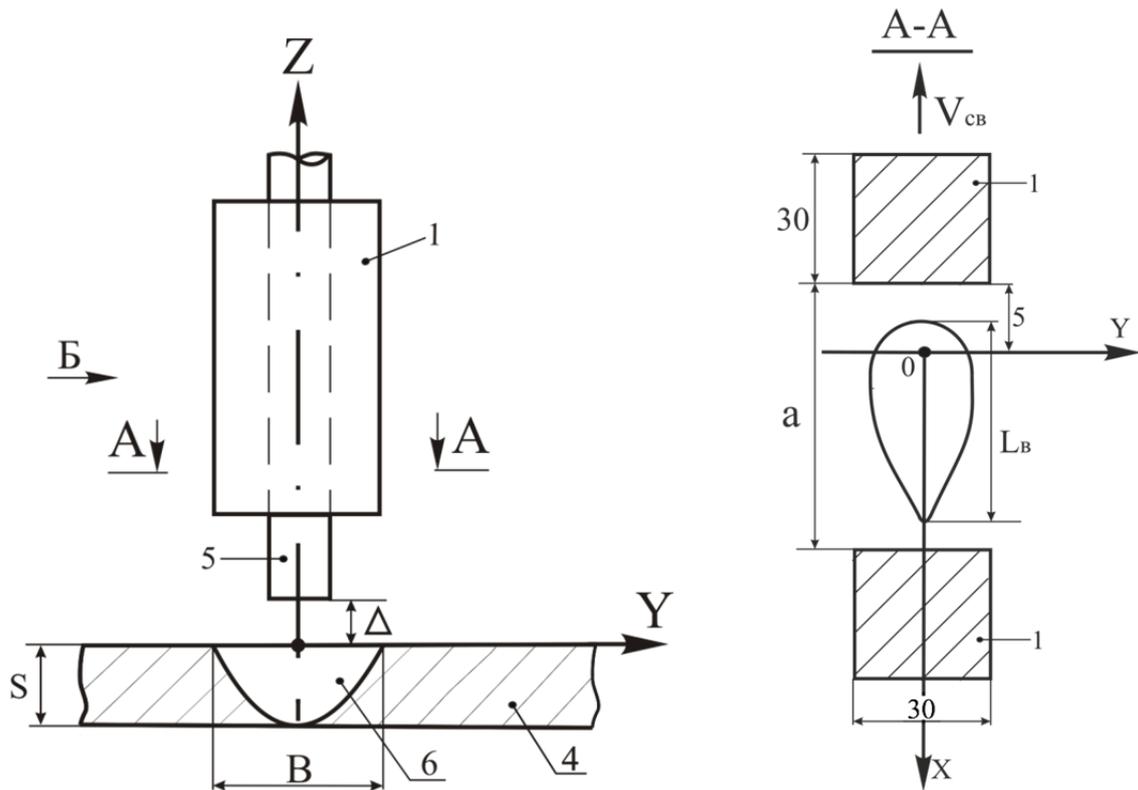


Рис. 2. Расположение стержней УВ ПОМП вдоль оси шва – OX:

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

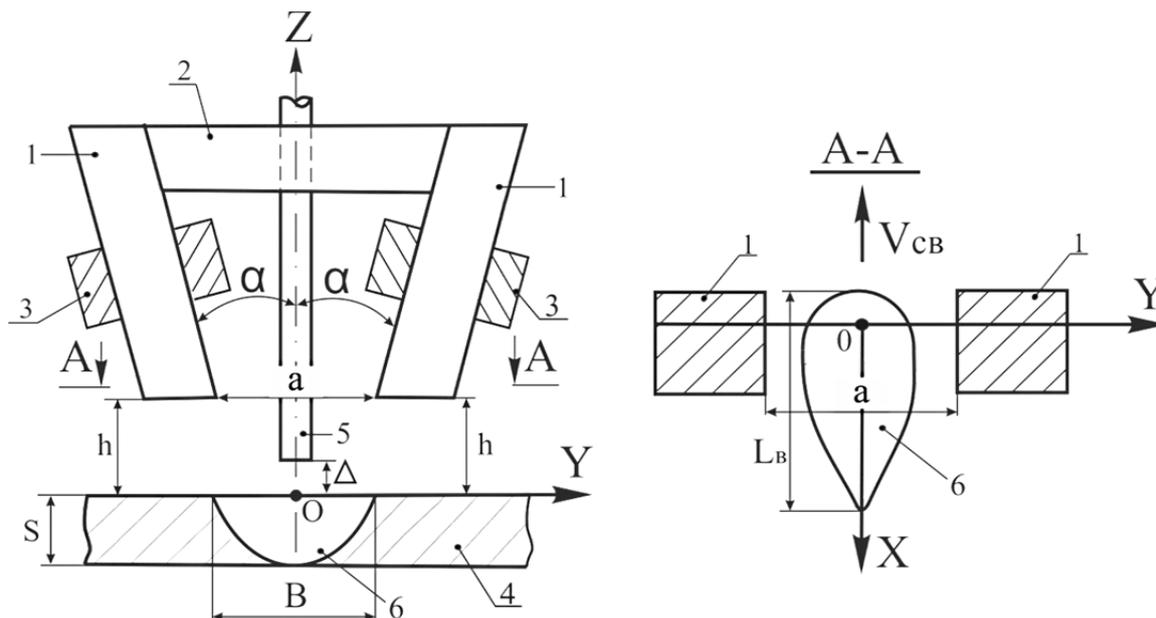


Рис. 3. Схема расположения стержней УВ ПОМПІ поперек оси шва

Применительно к однопроходной сварке стыкового соединения пластин из стали ВМСтЗсп толщиной 12...16 мм (с V-образной разделкой (рис. 4) с зазором 2 мм по ГОСТ 8713-79) установлено, что для параметров $a = 30$ мм, $h = 10$ мм, постоянном токе в катушках $I_{кат} = 16$ А ($I \cdot W = 1600$) в разделке создается уровень индукции $B_z = 20...30$ мТл (и более), достаточный для индуцирования потоков жидкого металла в сварочной ванне (рис. 5).

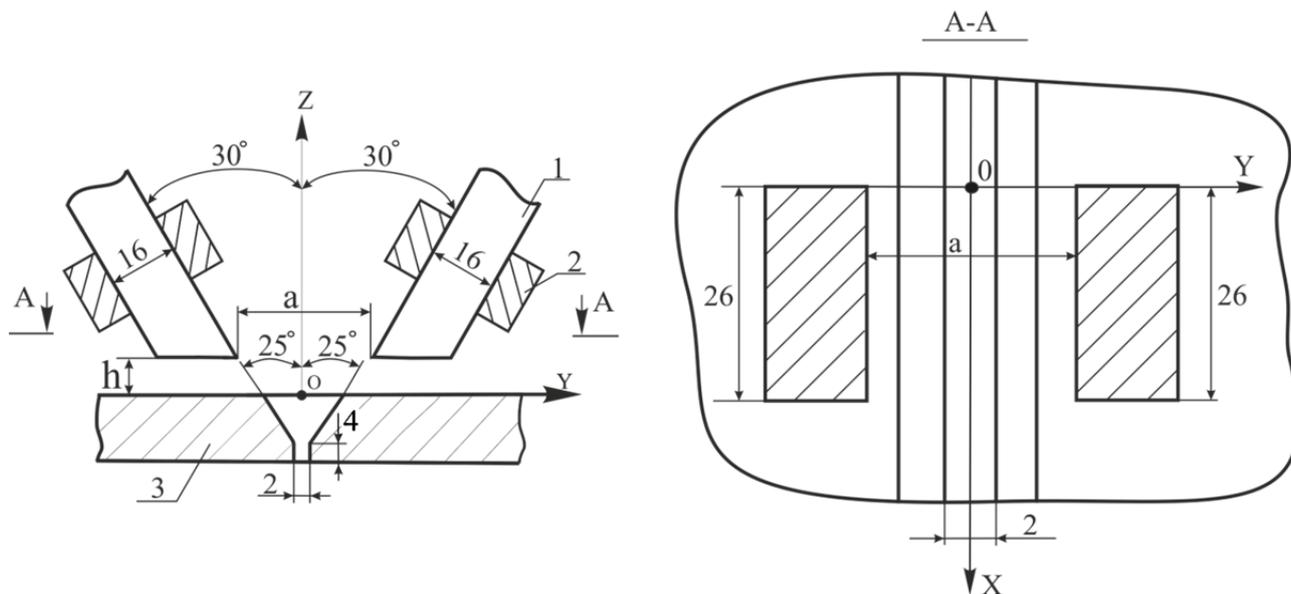


Рис. 4. Схема размещения стержней УВ ПОМПІ:
1 – стержни; 2 – обмотки; 3 – пластины

Более того, у корня разделки (кривая 2 на рис. 5) поперечная компонента индукции B_y больше, чем у поверхности пластин (кривая 1 на рис. 5). Однако, если в корне разделки будет подварочный шов (даже беглый, небольшого сечения), то магнитный поток замыкается через него и в зоне разделки величина B_y будет приближаться к нулю. Таким образом, поперечное

расположение стержней УВ ПОМП целесообразно использовать только для однопроходной сварки пластин их ферромагнитных материалов. Если изделие (стыковое соединение пластин) из немагнитных сталей, то в жидком металле ванны (в V – образной разделке) индукция B_y наблюдается при наличии любого числа, ранее выполненных швов (наплавки) (нет шунтирующей ферромагнитной перемычки). В этом случае применение ПРМП для сварки целесообразно.

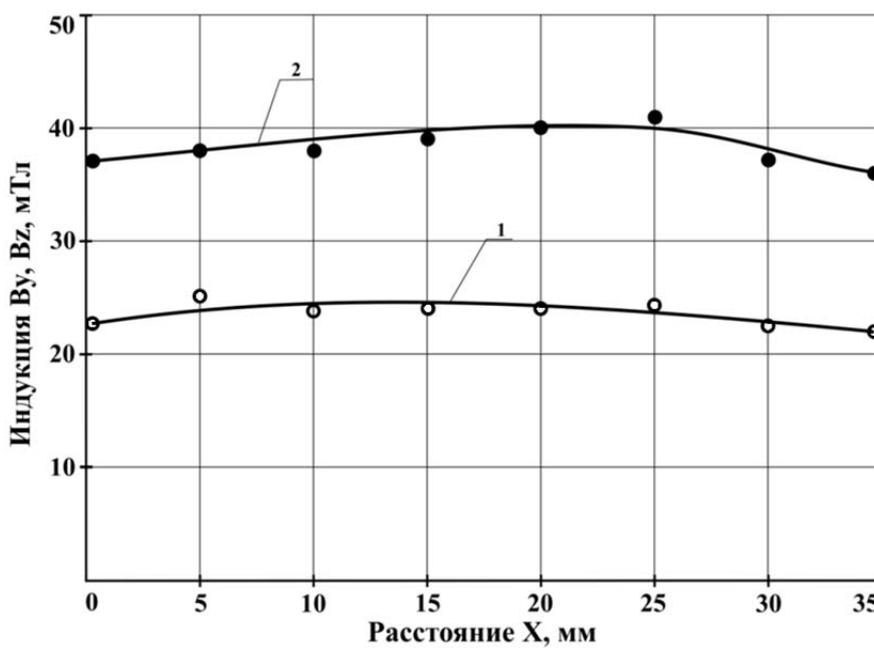


Рис. 5. Распределение индукции B_y вдоль оси OX ($Y=0$):
1 – у поверхности пластин; 2 – у корня разделки

При сварке и наплавке с воздействием ПРМП и ПОМП в жидком металле ванны индуцируются потоки, которые влияют на процесс кристаллизации металла. Механизм влияния магнитных полей на измельчение структурных составляющих металла шва (наплавки) подробно изложен в работе [6].

Вопрос о том, как достичь определенного уровня продольной составляющей индукции B_z в зоне сварочной ванны при воздействии ПРМП изложен в работах [1, 4]. Более сложным явился вопрос определения уровня поперечной компоненты индукции даже при использовании при наплавке и сварке стыковых соединений изделий (пластин) из немагнитных материалов (по рис. 2, 3). При этом оказалось возможным использовать метод аналогий между строением магнитного поля, генерируемого УВ ПОМП, и строением электростатического поля, генерируемым аналогичных размеров заряженными телами. При этом используются уравнения электростатики, что упрощает проведение расчетов [7–9]. В работе [10] приведены расчетные данные, позволяющие более быстро определить любые параметры УВ ПОМП, обеспечивающие заданный уровень поперечной компоненты индукции B_y в головной части сварочной ванны.

Более сложной оказалась решение задачи по определению индукции B_y , генерируемой УВ ПОМП (по рис. 2, 3), если изделие изготовлено из ферромагнитного материала. Однако такая задача также решена применительно к сварке стыковых соединений пластин из ферромагнитных материалов с V-образной разделкой. При этом также используются законы электростатики, но дополненные методом отражений (от поверхностей ферромагнитных пластин). Эти данные приведены в работе [2]. Важным является вопрос о том, из какого материала изготавливать ферросердечник УВ ПРМП (по рис. 1). Применить набор пластин

из электротехнической стали здесь затруднительно. Но оказалось, что удовлетворительные результаты получаются, если сердечник УВ ПОМП выточить из малоуглеродистой стали (например, Ст. 3). Лучше, если после этого сердечник подвергнуть термообработке отпуска (нагрев до 650 °С с медленным последующим охлаждением). Стержни УВ ПОМП лучше изготовить из пластин электротехнической стали (толщиной 0,35 мм, либо 0,5 мм). Однако допустимо их изготовление из малоуглеродистых сталей.

В заключение следует отметить, что для дуговой сварки и наплавки УВ ПРМП должны обеспечить в зоне электродной капли, сварочной дуги и в головной части жидкого металла сварочной ванны продольную компоненту индукции $B_z = 25...30$ мТл. Аналогично УВ ПРМП должно обеспечить также уровень поперечной компоненты индукции $B_y(B_x)$ в этих зонах. При этом будет повышена эффективность использования магнитных полей при дуговой сварке, либо наплавке.

ВЫВОДЫ

Использование продольных и поперечных магнитных полей при дуговой сварке и наплавке позволяет повысить производительность расплавления электродной проволоки, уменьшить глубину проплавления основного металла, измельчать структурные составляющие сварных швов (наплавки).

Сопоставительный анализ позволил установить области рационального использования управляющих магнитных полей (ПРМП и ПОМП) при дуговой сварке и наплавке проволокой под флюсом с учетом магнитных свойств сварочных и основных материалов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Размышляев А. Д. Магнитное управление формированием валиков и швов при дуговой наплавке и сварке : монография / А. Д. Размышляев, М. В. Миронова. – Мариуполь : Изд-во ПГТУ, 2009. – 242 с.
2. Размышляев А. Д. Автоматическая электродуговая сварка под флюсом с воздействием внешнего магнитного поля : монография / А. Д. Размышляев, П. А. Выдмыш, М. В. Агеева. – Мариуполь : Изд-во ПГТУ, 2017. – 209 с.
3. Сварка с электромагнитным перемешиванием / В. П. Черныш, В. Д. Кузнецов, А. Н. Брискман, Г. М. Шеленков. – Киев : Техника, 1983. – 127 с.
4. Размышляев А. Д. Магнитное управление формированием швов при дуговой сварке. – Мариуполь : ПГТУ, 2000. – 245 с.
5. Размышляев А. Д. Расчет индукции магнитного поля соленоида с ферромагнитным сердечником применительно к дуговой наплавке / А. Д. Размышляев, В. Р. Маевский, С. М. Сидоренко // Автоматическая сварка. – 2001. – № 8. – С. 22–24.
6. Размышляев А. Д. О механизме измельчения структуры металла шва при дуговой сварке с воздействием магнитных полей (обзор) / А. Д. Размышляев, М. В. Агеева // Автоматическая сварка. – 2018. – № 3. – С. 29–33.
7. Размышляев А. Д. Использование законов электростатики для моделирования строения поперечного магнитного поля в зоне сварочной ванны / А. Д. Размышляев, П. А. Выдмыш, М. В. Агеева // Автоматическая сварка. – 2018. – № 7. – С. 18–23.
8. Размышляев А. Д. Методика определения индукции управляющего поперечного магнитного поля в зоне ванны при дуговой сварке / А. Д. Размышляев, П. А. Выдмыш, М. В. Агеева // Автоматическая сварка. – 2018. – № 8. – С. 51–56.
9. Размышляев А. Д. Исследование законов электростатики для моделирования индукции управляющего поперечного магнитного поля в головной части сварочной ванны / А. Д. Размышляев, М. В. Агеева // Вісник ДДМА : зб. наук. пр. – 2018. – № 2 (44). – С. 84–88.
10. Размышляев А. Д. К расчету численных значений индукции управляющего поперечного магнитного поля в головной части сварочной ванны / А. Д. Размышляев, М. В. Агеева // Наука та виробництво. Міжвуз. темат. зб. наук. пр. – 2018. – Вип. 19. – С. 51–59.