

УПРАВЛЕНИЕ ТЕПЛОВЛОЖЕНИЕМ В СВАРИВАЕМЫЕ КРОМКИ ПРИ ДУГОВОЙ СВАРКЕ НЕПЛАВЯЩИМ ЭЛЕКТРОДОМ

И.В. Смирнов, к.т.н., А.И. Захаренко, инж., ГОУ «ВПО «Тольяттинский
государственный университет», г. Тольятти

В практике сварочного производства постоянно возникают задачи, связанные с необходимостью управления тепловложением в свариваемые кромки в процессе сварки. Всё многообразие факторов, вызывающих необходимость такого управления, можно укрупнено свести к двум большим группам.

Первая группа факторов – это факторы, приводящие к отклонению характера тепловложения от проектного. Т.е. это те факторы, воздействие которых на сварочный процесс приводит к необходимости стабилизации тепловложения относительно характера тепловложения заложенного в проектной технологии сварки. Как правило, к этим факторам относятся возмущающие факторы, воздействие которых на процесс сварки приводит к неконтролируемому изменению пространственного положения сварочной дуги на свариваемых кромках. Это такие факторы как: воздействие внешних магнитных полей, влияние ферромагнитных масс, непостоянство параметров подготовки и сборки кромок под сварку по длине стыка (наиболее ярко выраженное при сварке корневого слоя шва) и т.д. Основным мероприятием, позволяющим устранить отклонение характера тепловложения в свариваемые кромки от проектного, является устранение неконтролируемого изменения пространственного положения сварочной дуги на свариваемых кромках.

Вторая группа факторов – это факторы, наличие которых приводит к необходимости изменения характера тепловложения в каждый элемент сварного соединения, т.е. это факторы, приводящие к необходимости не стабилизации, а оптимизации тепловложения, по заранее заданным критериям. К этой группе факторов можно отнести, например, сварку разнородных материалов, сварку элементов с

большой разностью толщин и т.д. Как правило, основным мероприятием, позволяющим оптимизировать процесс вложения тепла в каждый из свариваемых элементов, является управление пространственным положением дуги на свариваемых кромках.

Из анализа приведённой выше информации вытекает вывод, что независимо от причин и факторов, вызывающих необходимость управления тепловложением в свариваемые кромки, основным механизмом реализации такого управления является управление пространственным положением дуги на свариваемых кромках. Поэтому целью данной работы является совершенствование методов управления пространственным положением дуги на свариваемых кромках при дуговой сварке неплавящимся электродом.

В начале были проанализированы существующие методы управления пространственным положением дуги на свариваемых кромках. Из анализа литературных данных установлено, что для управления пространственным положением дуги на свариваемых кромках в настоящее время используются два основных подхода:

- 1) воздействие на дугу магнитным полем;
- 2) механическое перемещение сварочной горелки по заданной траектории.

Анализ приёмов управления основанных на воздействии на дугу магнитным полем показал наличие в этом направлении двух подходов, это воздействие на дугу внешним (управляющим) магнитным полем, и управление пространственным положением дуги за счёт изменения параметров её собственного магнитного поля.

Для воздействия на дугу внешним магнитным полем используют поперечное и продольное магнитное поле [1]. Продольное магнитное поле, как правило, не используется для управления пространственным положением дуги, а применяется в основном для изменения её энергетических и геометрических характеристик (размера

пятна нагрева дуги, изменения напряжения, коэффициента сосредоточенности теплового потока и т.д.). Для управления пространственным положением дуги на свариваемых кромках используется поперечное магнитное поле. Анализ публикаций, посвящённых использованию поперечных магнитных полей для управления геометрическими характеристиками сварных швов показал наличие существенных ограничений в применении этого подхода. Одним из основных ограничений является то, что применение поперечных магнитных полей для управления пространственным положением дуги может быть эффективно реализовано только в случае наплавки на плоскость или сварки стыков без разделки кромок. При сварке соединений с разделкой кромок эффективность управления размерами шва (и, соответственно, пространственным положением дуги) резко уменьшается [1, 2, 3]. Чем глубже дуга расположена в разделке над поверхностью изделия, тем менее эффективным становится воздействие на неё поперечным магнитным полем. Наиболее ярко данный эффект проявляется при сварке ферромагнитных материалов, и объясняется экранирующим влиянием свариваемых кромок [4].

Методы управления пространственным положением дуги, основанные на механическом перемещении сварочной горелки по заданной траектории, обладают, фактически, тем же основным недостатком, что и методы управления положением дуги путём воздействия на неё поперечным магнитным полем, а именно, ограниченно пригодны для управления положением дуги при сварке соединений с разделкой кромок. При расположении горелки внутри разделки кромок существенно ограничены возможности её перемещения, особенно в поперечном направлении.

Анализ наиболее широко применяемых в настоящее время подходов к управлению пространственным положением дуги на свариваемых кромках показал, что эти подходы эффективны для случаев наплавки на плоскую поверхность, или сварки соединений без разделки кромок, но весьма ограничено могут быть применены

для сварки соединений с разделкой кромок, особенно для сварки наиболее ответственной части таких соединений – корневого слоя шва.

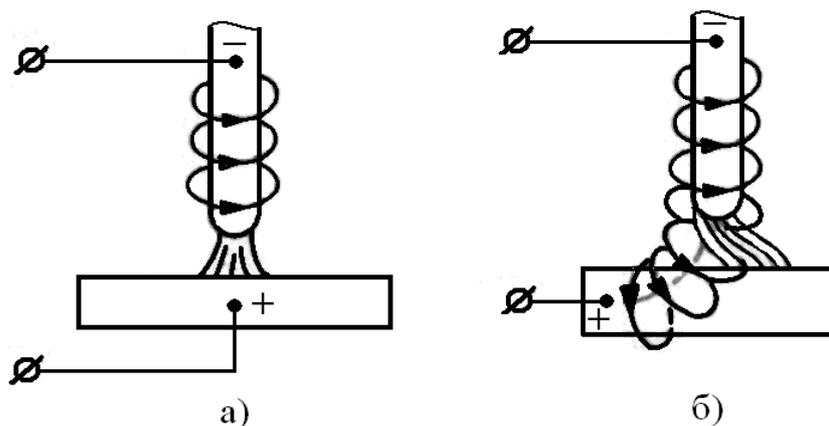


Рис. 1: Действие собственного магнитного поля на дугу
а – при отсутствии искривления магнитного поля, б – при наличии искривления собственного магнитного поля дуги (т.е. "магнитного дутья")

В свете указанных недостатков существующих подходов, наиболее перспективным подходом к управлению пространственным положением дуги на свариваемых кромках авторы данной работы считают подход, основанный на изменении параметров собственного магнитного поля дуги, а именно на использовании эффекта «магнитного дутья». Напомним, что данный эффект основан на том, что при нарушении симметричности собственного магнитного поля сварочной дуги, в нём возникает область в которой плотность линий магнитной индукции увеличивается, и область в которой плотность линий магнитной индукции уменьшается. В результате дуга отклоняется от своей оси в сторону области магнитного поля, в которой плотность линий магнитной индукции уменьшается (рис. 1). Используя описанный принцип, авторами работы [5] был предложен подход к управлению пространственным положением дуги, основанный на целенаправленном изменении зональной напряжённости собственного магнитного поля дуги за счёт периодического изменения места подключения тока к изделию. Изменение места подключения тока производят в процессе сварки автоматически или вручную по

заданной программе. Применяя различные схемы подключения тока к изделию, и изменяя порядок подключения тока в разных точках изделия, добиваются различных траекторий движения дуги (рис. 2).

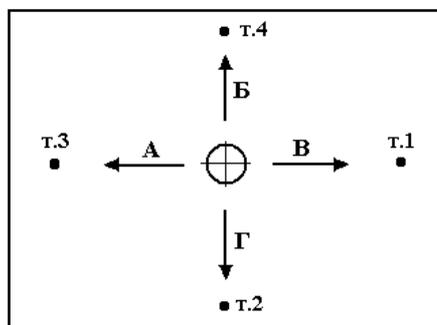


Рис. 2: Схемы подключения тока к изделию последовательно в четырёх точках (т. 1-4), при котором сварочная дуга будет отклоняться в направлении стрелок А, Б, В, Г

Эффект «магнитного дутья» сварочной дуги может быть инициирован в любых условиях сварки, будь то сварка изделий без разделки кромок, или сварки толстостенных изделий с разделкой кромок, при разном уровне погружённости горелки в разделку, при сварке магнитных и немагнитных материалов. Поэтому использование предложенного в работе [5] подхода для управления пространственным положением дуги, по сравнению с рассмотренными ранее подходами, способствует повышению эффективности управления пространственным положением дуги, и снижает зависимость эффективности управления этим процессом от параметров изделия и условий сварки.

Однако авторами работы [5] приводится лишь общий принцип управления пространственным положением дуги, и не даётся никаких конкретных рекомендаций по области его применения, в плане применяемых процессов и параметров этих процессов. Отсутствуют данные, ограничивающие возможность применения предлагаемого принципа, что создаёт существенные препятствия, а иногда и невозможность его практического применения. В связи с полной неопределённостью

условий, в которых может быть осуществлён предлагаемый принцип управления, при заданных параметрах процесса сварки невозможно заранее сказать, будет ли вообще достигнут эффект отклонения дуги. Так, например, величина отклонения дуги под действием магнитного «дутья» в значительной степени определяется расстоянием от оси электрода до места подключения тока к изделию. Эффект «магнитного дутья» наблюдается при сравнительно небольших расстояниях от оси электрода до токоподвода, а при больших расстояниях он вообще не проявляется. Также возможность и величина отклонения дуги под действием «магнитного дутья» значительно зависит от силы сварочного тока. При определённом расстоянии от оси электрода до токоподвода, имеется некоторое минимальное пороговое значение силы тока при котором начинает проявляться эффект отклонения дуги. При токе меньше порогового, эффекта отклонения дуги не наблюдается. Причём это минимальное пороговое значение будет различно для каждого расстояния от оси электрода до токоподвода, т.е. является величиной не постоянной. Важным фактором, является частота переключения направления токоподвода. В работе [5] указано, что частота может меняться в широком диапазоне. Однако следует иметь в виду, что электрическая дуга имеет определённую скорость реакции на изменения магнитного поля, т.е. наблюдается инерционность. При достижении частотой изменения направления токоподвода некоторой максимально возможной критической частоты, дуга перестаёт (а точнее, не успевает) реагировать на изменения магнитного поля.

Отсутствие конкретных рекомендаций по области применения, существенно ограничивает возможности практического использования подхода к управлению пространственным положением дуги, основанного на изменении параметров её собственного магнитного поля. Поэтому актуальной задачей является исследование процесса сварки с управлением пространственным положением дуги за счёт изменения параметров её собственного магнитного поля.

В данной работе такие исследования были выполнены для процесса аргонодуговой сварки неплавящимся электродом.

В процессе планирования исследования были поставлены три первоочередные задачи:

1) определить максимальное расстояние от оси электрода до контакта подвода тока к изделию, при котором наблюдается эффект отклонения дуги;

2) определить зависимость минимального значения сварочного тока, при котором начинает проявляться эффект отклонения дуги от расстояния между осью электрода и контактом подвода тока к изделию;

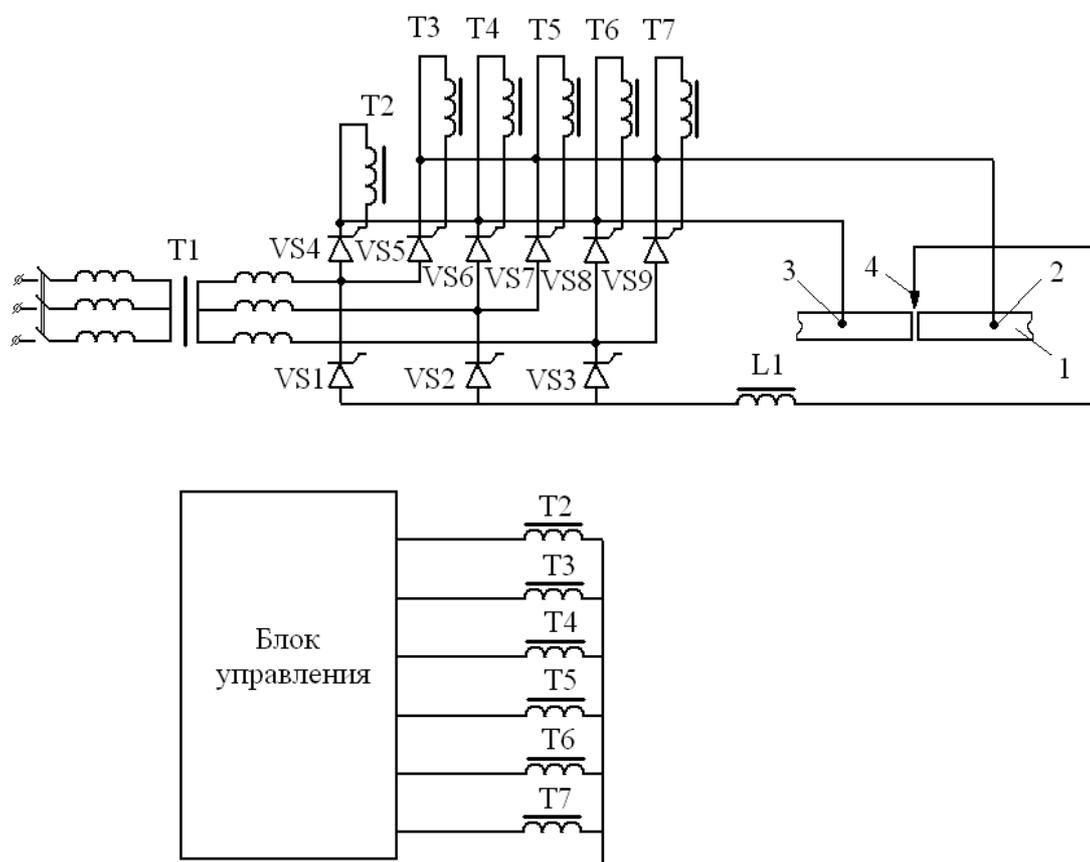


Рис. 3: Электрическая принципиальная схема источника питания для реализации способа дуговой сварки неплавящимся электродом с независимым подводом тока к изделию в двух точках:

1 – свариваемые кромки; 2, 3 – контакты разделённого токоподвода; 4 – неплавящийся электрод; T1- силовой трансформатор; T2-T7 – элементы гальванической развязки; VS1-VS9 – тиристоры; L1 – стабилизирующий дроссель.

3) определить максимально возможную частоту коммутации тока между отдельными каналами подвода тока к изделию, при которой наблюдается эффект отклонения дуги.

Для проведения исследований была создана экспериментальная установка основной частью которой является разработанный авторами источник питания (рис. 3), изготовленный на базе промышленно выпускаемого выпрямителя ВСВУ-315. Достаточно эффективно тепловложением в свариваемые кромки можно управлять, придавая дуге поперечные колебания, в сочетании с перемещением её вдоль стыка со сварочной скоростью. Т.е. достаточно обеспечить возможность возвратно-поступательного движения дуги между двумя крайними точками на поверхности кромок. Для обеспечения этой цели в промышленно выпускаемом источнике была полностью изменена схема выпрямительного тиристорного блока, в результате чего, экспериментальный источник питания, в отличие от стандартно выпускаемых источников, имеет один отрицательный полюс (один выход «-») и два положительных полюса (два выхода «+»). Отрицательный полюс подключается к неплавящемуся электроду, а два положительных полюса подключаются к изделию в разных точках. Коммутацию тока/напряжения между двумя положительными полюсами источника осуществляет специально разработанный блок управления (электронный коммутатор). Этот блок позволяет задавать и плавно изменять значение силы сварочного тока в каждом из каналов, задавать и плавно изменять частоту коммутации тока между двумя каналами, а также задавать время пропускания тока через каждый канал подвода тока к изделию в отдельности. Для практического осуществления способа также была разработана экспериментальная модель разделённого токоподвода (рис. 4). Токоподвод конструктивно совмещён со сварочной горелкой, и состоит из двух, электрически изолированных между собой, плеч. На каждом плече расположен скользящий по поверхности изделия графитовый контакт токоподвода. Каждый

скользящий контакт соединён кабелем с одним из двух положительных полюсов источника питания. Каждый контакт имеет возможность перемещаться вдоль плеча, тем самым, регулируя расстояние от оси вольфрамового электрода до каждого контакта токоподвода.

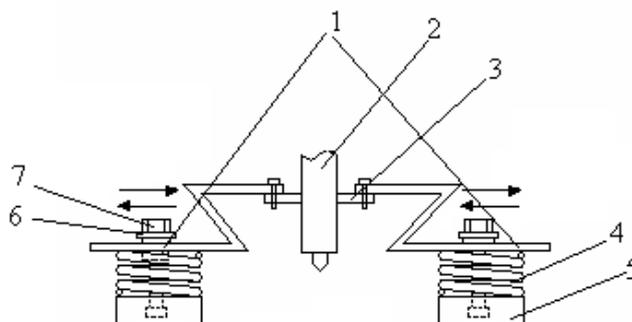


Рис. 4: Экспериментальная модель разделённого токоподвода
1 - стальное основание; 2 – корпус сварочной горелки; 3 – изолятор; 4 - стальные пружины; 5 – графитовые контакты токоподвода; 6 - клемма провода; 7 - болт и гайка

Эксперименты проводились в диапазоне силы сварочного тока до 200 А, стандартно применяемой для сварки углеродистых и низколегированных сталей.

В соответствии с составленным планом экспериментов для решения первой и второй задач исследования дискретно изменяли расстояние от оси электрода до центра скользящего контакта токоподвода. Для улучшения условий визуального наблюдения за дугой, для каждого из плеч токоподвода принимались одинаковые расстояния. Расстояния изменяли от минимально возможного для токоподвода (10 мм) с шагом в 10 мм. Для каждого значения расстояния, путём плавного увеличения силы сварочного тока, определяли минимальное значение сварочного тока, при котором начинает визуально наблюдаться эффект отклонения сварочной дуги. Эффект отклонения сварочной дуги наблюдали визуально, процесс сварки снимали на цифровую видеокамеру Panasonic NV DS50, а также проводили запись тока и напряжения при протекании тока через каждый канал подвода тока к изделию с помощью многоканального мобильного регистратора процессов сварки MPC-02M.

Результаты проведённого эксперимента графически представлены на рис. 5. Для упрощения нахождения минимального значения сварочного тока при котором начинает проявляться эффект отклонения сварочной дуги на заданном расстоянии, результаты эксперимента были преобразованы в уравнение регрессии. Для чего использована программа статистической обработки данных Statistica 6.0. Уравнение представлено в виде полинома пятой степени.

$$I = 4,466 \cdot h - 0,4 \cdot h^2 + 0,0147 \cdot h^3 - 0,225 \cdot 10^{-3} \cdot h^4 + 1,236 \cdot 10^{-6} \cdot h^5 \quad (1)$$

где: I – минимальный сварочный ток дуги, при котором наблюдается эффект отклонения столба дуги, А; h – расстояние от оси неплавящегося электрода до контакта токоподвода, мм.

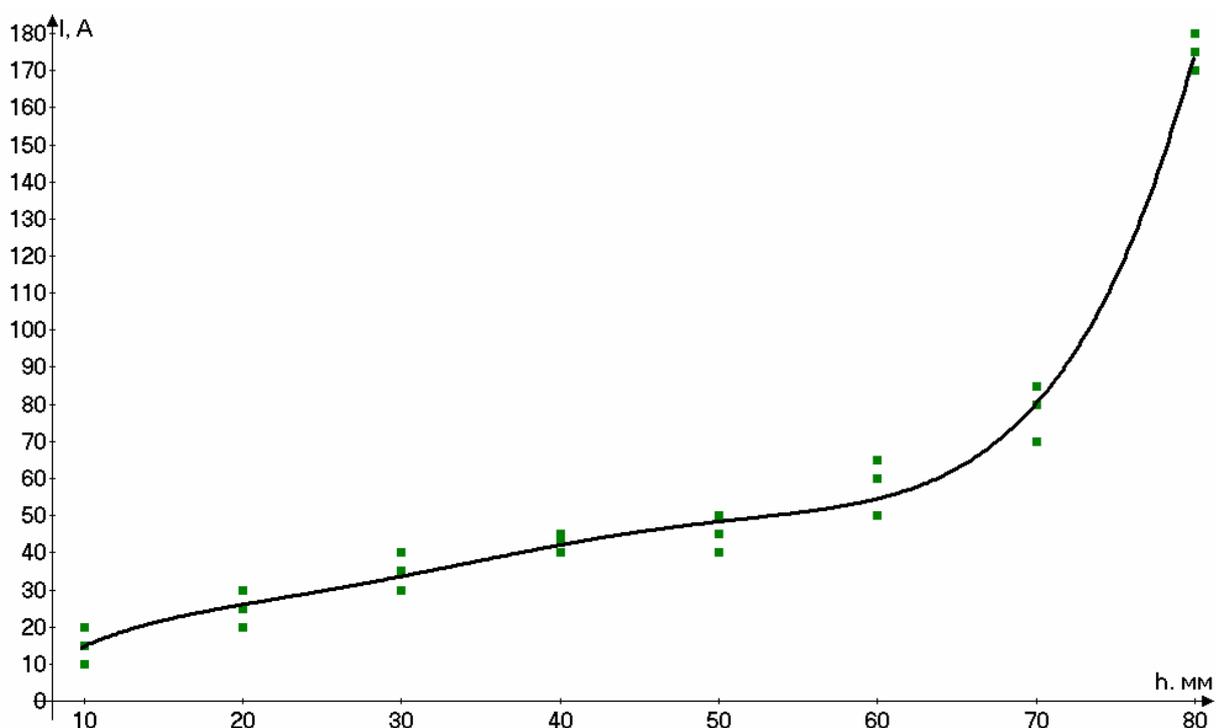


Рис. 5: Зависимость минимального значения сварочного тока от расстояния токоподвода до оси электрода

На максимальном, для проводимого исследования, сварочном токе 200 А, эффект отклонения дуги полностью исчезал при расстоянии от оси электрода до токоподвода примерно 85-90 мм.

Для решения третьей задачи исследования проводили эксперимент, суть которого заключалась в следующем. Дискретно изменяли расстояние от оси электрода до центра скользящего контакта токоподвода, от минимально возможного значения для токоподвода (10 мм) до 90 мм с шагом в 10 мм. Для каждого значения расстояния рассчитывали по зависимости (1) минимальное значение сварочного тока при котором наблюдается эффект отклонения дуги. При горении дуги на рассчитанном минимальном токе, и на максимальном токе в 200А, путём плавного увеличения частоты коммутации тока между каналами, определяли максимальную частоту коммутации тока при которой наблюдался эффект отклонения дуги (т.е. частоту при которой дуга успевала реагировать на изменение направления токоподвода). Для проведения исследований использовали тоже оборудование, что и для решения первой и второй задачи.

В результате проведённого эксперимента установлено, что независимо от расстояния между электродом и контактом токоподвода, и величины сварочного тока, максимально возможная частота коммутации тока между отдельными каналами токоподвода не превышает 4 Гц.

Используя полученные данные можно утверждать, что при использовании процесса аргодуговой сварки неплавящимся электродом на токах до 200 А, управлять пространственным положением сварочной дуги путём изменения параметров её магнитного поля (за счёт периодического изменения места подключения тока к изделию) можно при расстоянии от оси электрода до контакта токоподвода не более 90 мм, при этом минимальная сила сварочного тока при которой на заданном расстоянии от электрода до токоподвода наблюдается эффект отклонения дуги должна быть не менее чем величина, определённая по выражению (1), а частота коммутации тока между отдельными каналами токоподвода не должна превышать 4 Гц.

Выводы:

1. Основным и наиболее простым механизмом управления тепловложением в свариваемые кромки является управление пространственным положением дуги на поверхности свариваемых кромок.
2. Методы управления пространственным положением дуги, в основу которых положено воздействие на дугу внешним поперечным магнитным полем, а также механическое перемещение горелки по заданной траектории, могут быть эффективно использованы для наплавки на плоскость, или для сварки соединений без разделки кромок, в то время как эффективность применения этих методов при сварке соединений с разделкой кромок резко уменьшается.
3. Использование для управления пространственным положением дуги подхода основанного на изменении параметров собственного магнитного поля дуги способствует повышению эффективности управления пространственным положением дуги, и снижает зависимость эффективности управления этим процессом от параметров изделия и условий сварки.
4. В настоящий момент метод управления пространственным положением дуги за счёт изменения параметров её собственного магнитного поля практически не исследован.
5. Проведённые в работе экспериментальные исследования позволили установить область применения подхода к управлению пространственным положением дуги за счёт изменении параметров её собственного магнитного поля, применительно к процессу аргонодуговой сварки неплавящимся электродом на сварочном токе до 200 А.

Список литературы

1. Размышляев, А.Д. Управление геометрическими размерами шва при дуговой сварке и наплавке воздействием магнитных полей (обзор) / А.Д. Размышляев // Сварочное производство. – 1994. - №9 - С. 28-31.
2. Шейпкин, М.З. Применение магнитных колебаний дуги при сварке под флюсом / М.З. Шейпкин, И.А. Шмелева // Сварочное производство. – 1969. - №6 – С. 24-25.
3. Пацкевич, И.Р. Распределение индукции наведенного магнитного поля в зоне горения сварочной дуги / И.Р. Пацкевич, А.В. Зернов, В.Я. Иванцов // Сварочное производство. – 1970. - №2 – С. 9-10.
4. Размышляев, А.Д. Влияние управляющих магнитных полей на геометрические размеры шва при дуговой сварке под флюсом / А.Д. Размышляев, В.Р. Маевский // Сварочное производство. – 1996. - №2 – С. 17-19.
5. А.с. № 465291. Способ дуговой сварки / А.М. Макара, А.Т. Назарчук, В.Г. Гордонный, А.Т. Дибец (СССР). - № 465291. – Оpubл. 30.03.75. – Бюл. № 12.