

## УМЕНЬШЕНИЕ ВЛИЯНИЯ МАГНИТНОГО ДУТЬЯ НА ПРОСТРАНСТВЕННОЕ ПОЛОЖЕНИЕ ДУГИ ПРИ СВАРКЕ

Смирнов И.В. к.т.н., Сидоров В.П. д.т.н., Захаренко А.И. инж., Тольяттинский государственный университет, г. Тольятти, Uwe Füssel профессор, доктор технических наук, Дрезденский технический университет, г. Дрезден (ФРГ)

Работа выполнена в рамках реализации совместной программы «Михаил Ломоносов II» Министерства образования и науки РФ и Германской службы академических обменов DAAD (Michail-Lomonosov-Forschungstipendien und -aufenthalte).

При сварке металлических конструкций часто возникает необходимость устранения эффекта «магнитного дутья». Проявление данного эффекта препятствует нормальному процессу сварки (горение дуги становится нестабильным, расплавленный металл разбрызгивается), что приводит к образованию дефектов в сварном соединении. Это связано с воздействием на сварочную дугу магнитных полей от посторонних источников, вызывающих намагниченность свариваемого металла. Магнитное поле сварочной дуги, взаимодействуя с магнитным полем от посторонних источников, создаёт результирующее поле, приводящее к отклонению сварочной дуги от вертикальной оси под действием силы  $F_1$  (рис. 1). Особенно сильно влияние внешних магнитных полей проявляется в глубоких и узких местах сварного соединения, а именно при сварке корня шва. При сварке последующих слоев магнитный поток шунтируется металлом ранее выполненных проходов [1, 2].

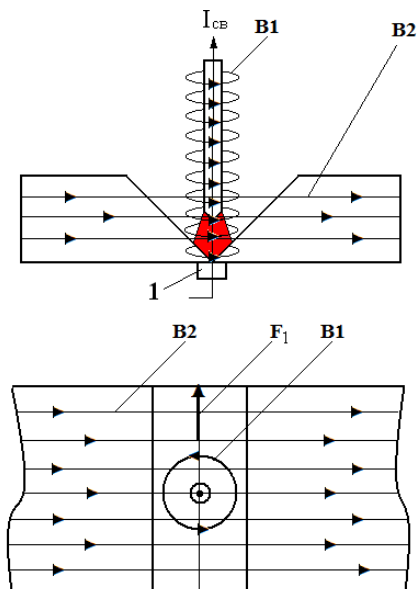


Рис. 1: Схема возникновения эффекта магнитного дутья, при взаимодействии собственного магнитного поля дуги ( $B_1$ ) и магнитного поля изделия ( $B_2$ ). 1 – контакт подвода тока к изделию;  $I_{св}$  – сварочный ток;  $F_1$  – результирующая сила, действующая на сварочную дугу в зоне взаимодействия двух полей.

Результаты некоторых исследований [1, 2] свидетельствуют о том, что сварка обычно происходит нормально в диапазоне значений магнитной индукции внешнего магнитного поля от -2 до 2 мТл. В этом случае проявление

магнитного дутья очень слабое и не оказывает влияние на процесс сварки. Влияние магнитного поля на процесс сварки заметно проявляется в диапазонах индукции от -4 до -2 мТл и от 2 до 4 мТл. При наличии магнитных полей с индукцией более 4 или менее -4 мТл может произойти обрыв дуги.

Существует несколько подходов, позволяющих устранить или временно компенсировать магнитное поле в ферромагнитных изделиях [1, 2]. Применение этих подходов влечёт за собой необходимость использования дополнительных размагничивающих устройств и приспособлений (зачастую достаточно дорогих), а также приводит к включению в технологический процесс получения сварного соединения дополнительных операций, или даже целых дополнительных технологических процессов. Основу существующих подходов составляет принцип наложения на зону сварки третьего (компенсирующего) магнитного поля, которое создаётся с помощью дополнительных технических устройств: соленоидов с током, постоянных магнитов и пр.

В данной работе предлагается подход, позволяющий компенсировать действие внешнего магнитного поля на сварочную дугу, за счёт использования только внутренних резервов сварочной системы, без использования дополнительных технических устройств и технологических операций. При этом принцип компенсации действия внешнего магнитного поля остаётся тем же, т.е. наложение на зону сварки третьего (компенсирующего) магнитного поля. Как известно, магнитное дутьё может быть вызвано несимметричным (относительно оси электрода) расположением контакта подвода тока к изделию. Этот эффект вызван взаимодействием собственного магнитного поля дуги, с магнитным полем тока протекающего по изделию. Предлагается использовать в качестве третьего (компенсирующего) магнитного поля именно магнитное поле тока, протекающего через изделие (рис. 2). Использование магнитного поля тока протекающего по изделию позволяет создать силу  $F_2$ , противоположно направленную силе  $F_1$ . Когда величина этих сил сравнивается, то происходит выравнивание пространственного положения дуги, и её ось располагается в вертикальной плоскости. Это позволит избежать необходимости создания компенсирующего поля за счёт дополнительных намагничивающих систем и использования для этих целей дополнительных технологических операций. При этом достаточно знать, в каком месте на поверхности изделия необходимо расположить токоподвод. Место приложения будет характеризоваться двумя параметрами – направлением и расстоянием от оси электрода до токоподвода.

Исходя из известных данных [2], токоподвод должен быть размещён на поверхности изделия в направлении, совпадающем с направлением отклонения дуги от вертикальной оси. Для оценки расстояния, на котором нужно расположить токоподвод от оси электрода, при различных значениях сварочного тока в цепи и величине индукции магнитного поля, были проведены экспериментальные исследования.

Для проведения экспериментов было решено создавать намагниченность изделия искусственно, за счёт помещения его в магнитное поле соленоида, намотанного на изделие. Для соленоида использовался провод сечением  $7 \text{ мм}^2$ . Для измерения величины индукции магнитного поля использовали магнитометр марки НВ-1200С.

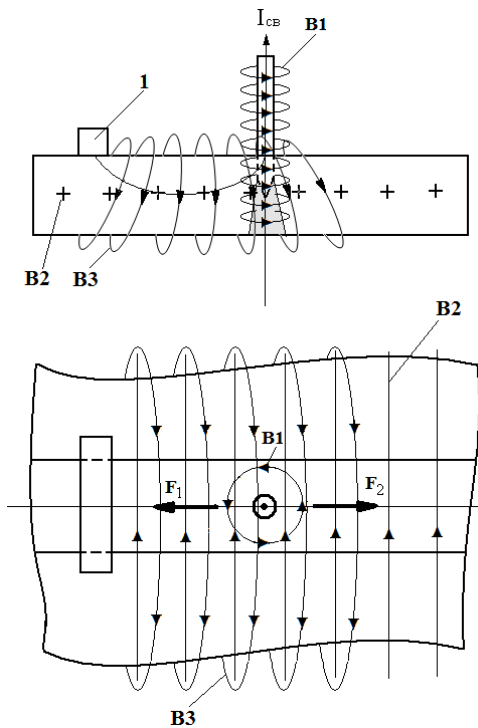


Рис. 2: Схема компенсации магнитного дутья с помощью магнитного поля тока, протекающего по изделию (B3).

1 – контакт подвода тока к изделию;  $I_{св}$  – сварочный ток;  $F_1$  – сила, действующая на сварочную дугу, и возникающая при взаимодействии полей с индукцией  $B_1$  и  $B_2$ ;  $F_2$  – сила, действующая на сварочную дугу, и возникающая при взаимодействии полей с индукцией  $B_1$  и  $B_3$ .

Для создания внешнего магнитного поля в разделке кромок были исследованы две схемы намагничивания изделия, которые показаны на рис. 3.

Эксперименты проводились на образцах в виде труб  $159 \times 8$  мм и пластин толщиной 8 и 12 мм из стали 10 с V-образной разделкой кромок.

При намагничивании изделия по схеме (рис. 3а) с каждой стороны трубы, или пластины, наматывали провод. Через соленоид пропускали ток, в результате чего происходило намагничивание изделия. С помощью магнитометра НВ-1200С измеряли индукцию магнитного поля на поверхности изделия и в разделке кромок. По полученным экспериментальным данным строили картину распределения магнитной индукции, принципиальный вид которой представлен на рис. 4.

Из графиков на рис. 4 видно, что индукция магнитно поля в разделке кромок равна нулю. Однако в реальных условиях при сварке намагниченного изделия индукция магнитного поля в разделке кромок отлична от нуля. Поэтому была рассмотрена вторая схема намагничивания изделия с целью создания индукции магнитного поля в разделке кромок.

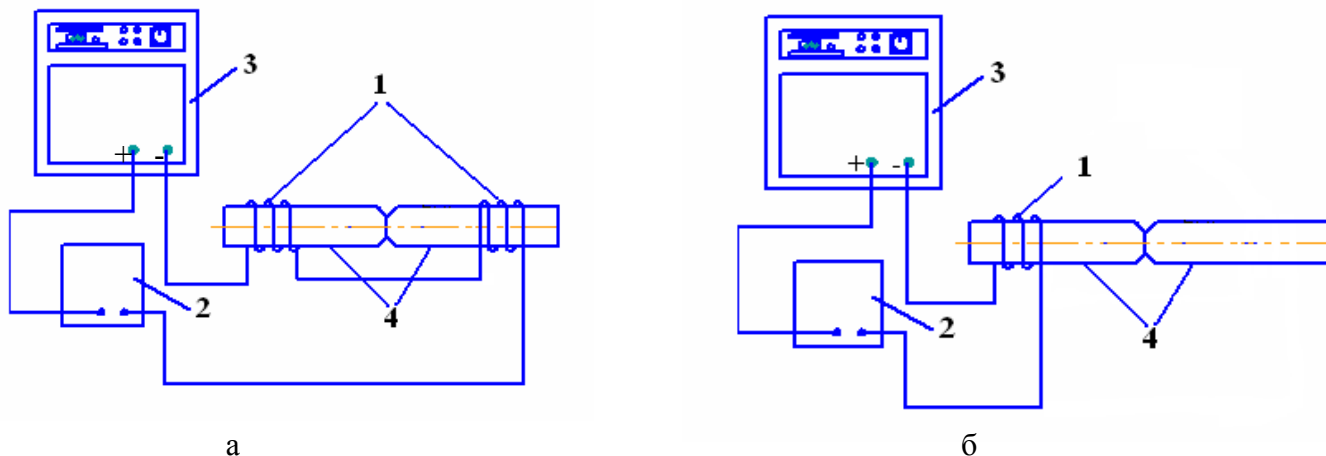


Рис. 3: Схемы создания индукции магнитного поля: а – намагничивание двух труб, проводом намотанным с 2-х сторон стыка; б – намагничивание труб проводом намотанным с одной стороны стыка: 1 – кабель сечением  $7 \text{ мм}^2$ , 2 - балластный реостат для регулировки тока протекающего в проводе, 3 – источник питания, 4 – труба.

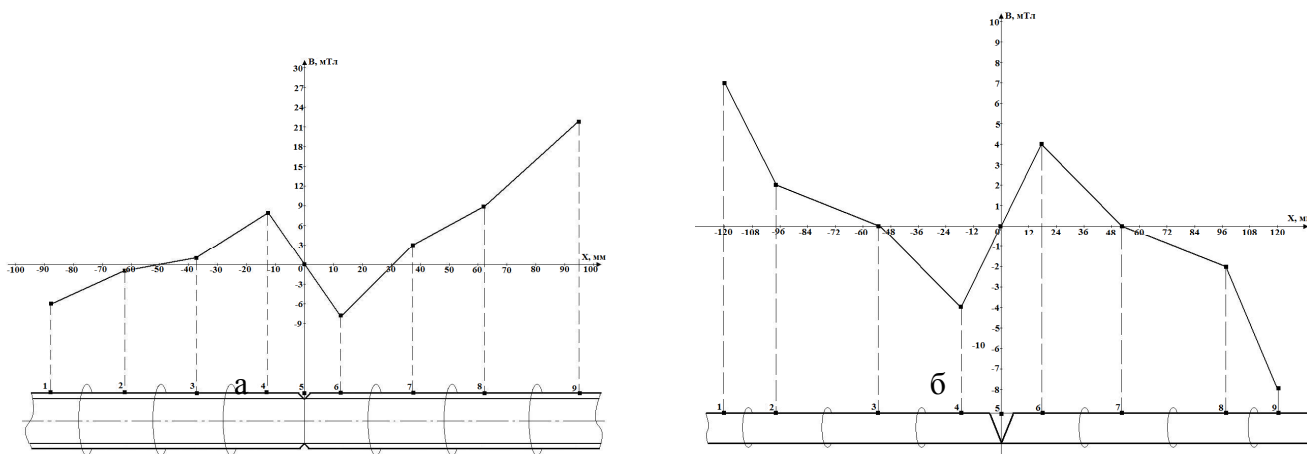


Рис. 4: Зависимость индукции магнитного поля от расстояния вдоль оси изделия, когда провод намотан с двух сторон от стыка: а – изделие в виде трубы; б– изделие в виде пластины.

Для этого соленоид размещали с одной стороны изделия по схеме рис. 3 б. Принципиальная картина распределения индукции магнитного поля по длине изделия представлена на рис. 5.

Из графиков на рис. 5 видно, что при данной схеме намагничивания индукции магнитного поля в разделке кромок труб отлична от нуля.

Для проведения дальнейших экспериментов выбирали методику намагничивания изделия и создания индукции магнитного поля в разделке кромок, при которой соленоид размещён вокруг изделия с одной стороны стыка.

Для дальнейших исследований необходимо установить область, в пределах которой наблюдается воздействие внешнего магнитного поля на сварочную дугу. Эта область будет ограничиваться, с одной стороны, сочетанием величины сварочного тока и величины индукции внешнего магнитного поля, при котором начинает проявляться эффект отклонения дуги, а с другой

стороны, сочетанием этих же параметров, при которых происходит обрыв сварочной дуги.

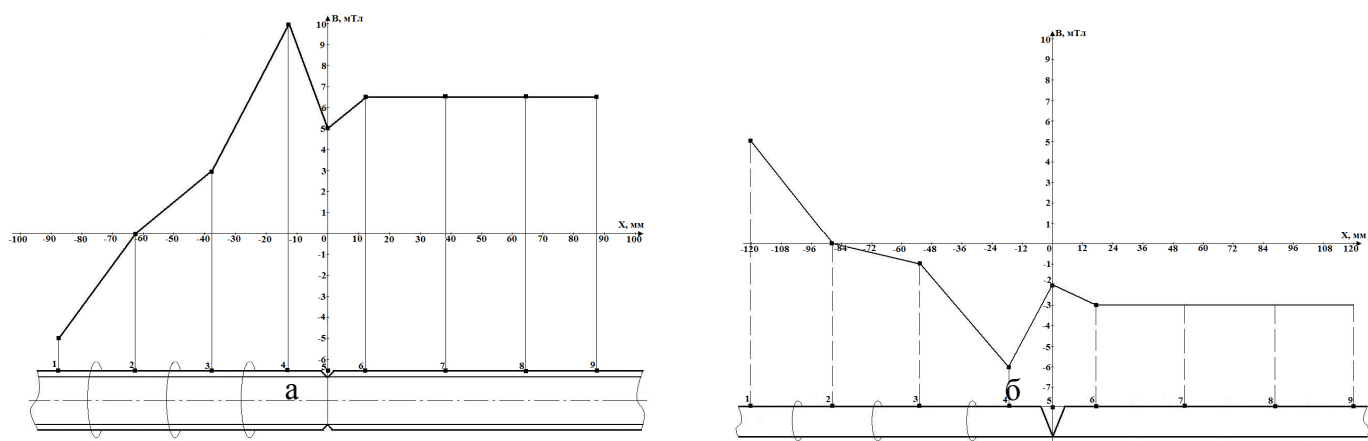


Рис. 5: Зависимость индукции магнитного поля от расстояния вдоль оси изделия, когда провод намотан с одной стороны от стыка: а – изделие в виде трубы; б – изделие в виде пластины.

Для проведения экспериментальных исследований использовали трубу  $159 \times 8$  из стали 10 с V-образной разделкой кромок. Трубу намагничивали по схеме на рис. 5а. При проведении исследования дискретно увеличивали силу сварочного тока дуги от 60 до 200 А с шагом 20 А. Эксперимент заключался в том, что при фиксированном значении сварочного тока производили постепенное увеличение индукции магнитного поля в разделке кромок путём плавного увеличения силы тока в соленоиде. С помощью магнитометра НВ-1200С, определяли значение индукции магнитного поля при котором начинает визуально наблюдаться эффект отклонения сварочной дуги. Затем в соленоиде увеличивали ток до тех пор, пока не происходил обрыв дуги и замеряли значение магнитной индукции внешнего поля воздействие которого привело к обрыву дуги. Наличие отклонения и обрыва дуги в разделке кромок при воздействии индукции магнитного поля определяли визуально. Результаты эксперимента приведены на рис. 6.

Далее приступили к решению задачи, непосредственно направленной на определение расстояния от оси электрода до места приложения контакта токоподвода к изделию, при котором бы удалось компенсировать действие на дугу внешнего магнитного поля, в пределах области выделенной на рис. 6.

В процессе проведения эксперимента дискретно изменяли силу сварочного тока от 60 до 200 А с шагом 20А. Для каждого фиксированного значения сварочного тока дискретно увеличивали значение индукции магнитного поля от минимально возможного, определённого по рис. 6, с шагом 3 мТл. При каждом сочетании силы сварочного тока и величины индукции внешнего магнитного поля подбирали такое расстояние от оси электрода до токоподвода, при котором дуга начинала гореть по центру стыка, а не на одну из свариваемых кромок. В результате чего получили область применения предлагаемого нами метода компенсации действия внешнего магнитного поля на дугу.

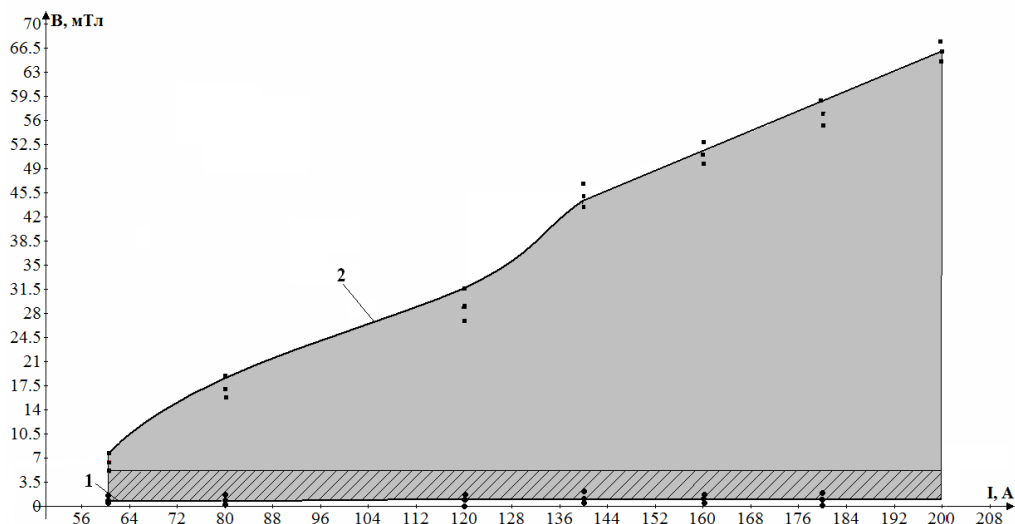


Рис. 6: Область, в пределах которой наблюдается воздействие внешнего магнитного поля на сварочную дугу: 1 – зависимость индукции внешнего магнитного поля, при которой начинает наблюдаться отклонение сварочной дуги от вертикали, от силы сварочного тока; 2 - зависимость индукции внешнего магнитного поля, при которой происходит обрыв сварочной дуги, от силы сварочного тока.



- область эффективного применения предлагаемого в работе подхода

Результаты эксперимента были представлены в виде уравнения регрессии (1), которое позволяет рассчитать расстояние от оси электрода до токоподвода, при котором при заданном сочетании силы сварочного тока (в диапазоне 60 – 200А) и величины магнитной индукции внешнего магнитного поля (в диапазоне 0,7 – 6 мТл) достигается выравнивание пространственного положения дуги по центру стыка.

$$h = 64,4 - 0,11 \cdot I - 9,48 \cdot B + 0,014 \cdot I \cdot B \quad (1)$$

$h$  – расстояние от токоподвода до оси электрода, мм;  $B$  – индукция внешнего магнитного поля, мТл;  $I_{св}$  – сила сварочного тока, А

Результаты эксперимента графически представлены на рис. 7.

В результате проведения эксперимента установили, что предлагаемый нами подход может быть эффективно использован для компенсации действия внешнего магнитного поля на пространственное положение дуги, только при величине индукции внешнего магнитного поля не более 6 мТл (см. рис. 6, заштрихованная область). При большей величине индукции магнитного поля в разделке применение предлагаемого подхода для устранения действия внешнего магнитного поля на сварочную дугу не эффективно.

На основании полученных данных были составлены рекомендации по практическому использованию полученных результатов в виде производственной инструкции.

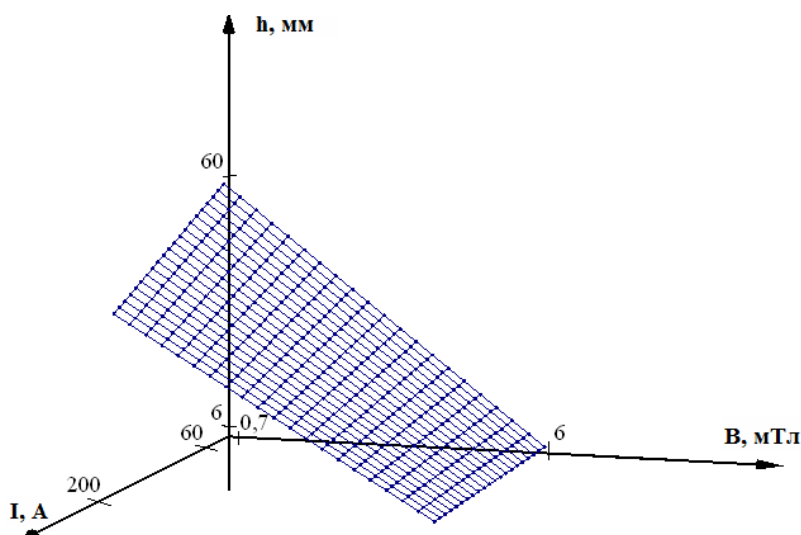


Рис. 7: Зависимость расстояния ( $h$ ) от оси электрода до токоподвода, при котором удаётся стабилизировать пространственное положение дуги по центру стыка, при воздействии на неё внешнего магнитного поля индукцией  $B$ , и при силе тока в сварочной цепи  $I_{св}$ .

#### Выводы:

1. Предложен подход, позволяющий устранить эффект магнитного дутья сварочной дуги под действием внешних магнитных полей без применения дополнительных технических устройств и технологических мероприятий, за счёт рационального расположения на поверхности изделия контакта токоподвода.

2. Предлагаемый подход может быть эффективно использован для борьбы с магнитным дутьём при величине индукции внешнего магнитного поля до 6 мТл.

3. В результате проведённых исследований получены практические рекомендации по применению предлагаемого подхода для борьбы с магнитным дутьём. Полученные рекомендации обобщены в виде производственной инструкции.

#### Литература:

1. Корольков, П.М. Природа возникновения и методы устранения магнитного дутья при сварке / П.М. Корольков // Сварочное производство. – 1998. - №5 – С. 6-8.
2. Корольков, П.М. Причины возникновения магнитного дутья при сварке и способы его устранения / П.М. Корольков // Сварочное производство. – 2004. - №3 – С. 38-40.
3. Яворский, Б.М. Справочник по физике / Б.М. Яворский, А.А. Детлаф // Издательство «Наука» Главная редакция Физико-математической литературы.; М. – 1968 – С. 940
4. Сидоров, В.П. Повышение пространственной устойчивости дуги на кромках при сварке корня шва /В.П. Сидоров, И.В. Смирнов, Н.Е. Машнин, А.И. Захаренко, И.В. Толстошеев// Современные проблемы повышения эффективности сварочного производства: сборник статей по докладам Всероссийской НТК – Тольятти: ТГУ, 2006 – ч.1 – с. 141 – 144.