

УДК 621.791

**О ФОРМИРОВАНИИ ШВОВ ПРИ СВАРКЕ С ПОВЫШЕННОЙ СКОРОСТЬЮ**

©Ситников Б. В., Маршуба В. П.

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»***Информация про авторів:**

**Ситников Борис Валентинович:** ORCID: 0000-0003-2581-1486; sitnikovboris@mail.ru; кандидат технічних наук; доцент кафедри зварювання; Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; вул. Багалия, 21, м. Харків, 61002, Україна.

**Маршуба Вячеслав Павлович:** ORCID: 0000-0003-1426-6240; marshuba\_vp@mail.ru; кандидат технічних наук; доцент кафедри зварювання; Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; вул. Багалия, 21, м. Харків, 61002, Україна.

Целью настоящей работы является определение направлений исследований по установлению возможности повышения качества формирования сварочных швов с повышенной скоростью формирования тела шва. В статье вопрос решается путём отклонения сварочной дуги углом вперед, поперечным магнитным полем. Дополнительное магнитное поле в зоне сварки генерируют, пропуская часть сварочного тока по присадочной проволоке. Проволока подается в сварочную ванну позади дуги параллельно электроду в плоскости свариваемого стыка, в направлении, противоположном току дуги.

Проведенный анализ отечественных и зарубежных литературных источников по рассматриваемой теме показал, что современный подход к определению влияния на повышение качества формирования сварочных швов с повышенной скоростью формирования тела шва, за счет дополнительного поперечного магнитного поля является актуальным в настоящее время и недостаточно изучен.

Приведены сведения о формировании тела шва при скоростной сварке вольфрамовым электродом с присадочной проволокой, которые могут быть использованы для повышения производительности сварочных работ.

**Ключевые слова:** сварка; вольфрамовый электрод; аргон; присадочная проволока; скорость сварки; шов; подрезы; магнитное поле; отклонение дуги.

**Ситников Б. В., Маршуба В. П.** «Про формування швів при зварюванні з підвищеною швидкістю».

Метою цієї роботи є визначення напрямків досліджень по встановленню можливості підвищення якості формування зварювальних швів з підвищеною швидкістю формування тіла шва. У статті питання вирішується шляхом відхилення зварювальної дуги кутом вперед, поперечним магнітним полем. Додаткове магнітне поле в зоні зварювання генерують, пропускаючи частину зварювального струму по присадочному дроті. Дріт подається в зварювальну ванну позаду дуги паралельно електроду в площині стику, що зварюється, в напрямку, протилежному току дуги.

Проведений аналіз вітчизняних і зарубіжних літературних джерел з даної теми показав, що сучасний підхід до визначення впливу на підвищення якості формування зварювальних швів з підвищеною швидкістю формування тіла шва, за рахунок додаткового поперечного магнітного поля є актуальним в даний час і недостатньо вивчений.

**Технологія машинобудування**

---

Наведено відомості про формування тіла шва при швидкісний зварюванні вольфрамовим електродом з присадочним дротом, які можуть бути використані для підвищення продуктивності зварювальних робіт.

**Ключові слова:** зварювання; вольфрамовий електрод; аргон; присадний дріт; швидкість зварювання; шов; підрізи; магнітне поле; відхилення дуги.

*Sitnikov B., Marshuba V.* “On the formation of the welding seams with high speed”.

The aim of this work is to determine the areas of research to establish the possibility of improving the quality of the formation of welds with an increased rate of formation of the joint body. In the article the problem is solved by the deviation of the arc angle forward transverse magnetic field. Additional magnetic field generated in the welding zone by passing part of the welding current for the filler wire. The wire is fed into the weld puddle behind the arc electrode in the plane parallel to the welded joint, in a direction opposite to the arc current.

The analysis of domestic and foreign literature on the topic has shown that the modern approach to determine the effect on the improvement of quality of formation of welds with an increased rate of formation of the joint body, due to the additional transverse magnetic field is relevant in the present and not fully understood.

Information is given about the formation of a seam in the tungsten electrode welding with filler wire, which can be used to improve the performance of welding.

**Key words:** welding; a tungsten electrode; argon; filler wire; welding speed; weld; undercutting; the magnetic field; the deflection of the arc.

**1. Постановка проблемы в общем виде**

Одним из способов снижения энергоёмкости и увеличения производительности процесса при изготовлении сварных конструкций является сварка с повышенной скоростью. Однако увеличение скорости дуговой сварки выше определенного значения приводит к ухудшению формирования швов, проявляющемуся, в первую очередь, в образовании подрезов. Такое явление имеет место практически при всех способах дуговой сварки, опасность возникновения подрезов возрастает с увеличением тока и скорости сварки [1, 2].

**2. Анализ исследований и публикаций за темой статьи**

Значительный вклад в исследования природы образования подрезов и разработку процессов сварки с повышенной скоростью внесли Б. Е. Патон и С. Л. Мандельберг [2]. Авторы считают, что образование подрезов при повышении скорости сварки обусловлено нарушением динамического равновесия жидкого металла в сварочной ванне. С увеличением скорости сварки давление сварочной дуги  $R_d$  повышается, а гидростатическое давление жидкого металла  $R_v$  понижается. При  $R_d > R_v$  давление дуги в кратере не уравнивается давлением жидкого металла, что приводит к отбрасыванию последнего в хвостовую часть сварочной ванны. Разрыв во времени между проплавлением дугой канавки в основном металле и её заполнением жидким металлом увеличивается, что приводит к образованию протяжённых подрезов.

По сущности аналогичную схему образования подрезов приводят и авторы работы [3]. Полагают, что подрезы образуются в тех случаях, когда уровень жидкого металла в точке максимальной ширины ванны, где начинается кристаллизация у кромок шва, оказывается ниже поверхности основного металла вследствие значительного наклона зеркала ванны и большой скорости кристаллизации. Чем выше сила давления дуги, тем больше наклон зеркала ванны и больше величина подреза.

Согласно другой точке зрения [4, 5], причины образования подрезов связаны с пространственным изменением столба дуги. Полагают, что с повышением скорости сварки столб дуги отклоняется в сторону шва, вызывая более интенсивное отбрасывание металла в хвостовую часть ванны. Вследствие этого становится больше разрыв во времени между проплавлением и заполнением образующейся канавки.

В результате опытов, проведенных при сварке стальных пластин плавящимся электродом, установлено [6], что при направлении сварки к токоподводу дуга отклоняется углом назад, а при сварке от токоподвода – углом вперед. Эти отклонения были наиболее заметны при сварке сравнительно узких пластин. Авторы объясняют это явление взаимодействием тока дуги с магнитным полем тока растекающегося по пластине.

Полагают [7], что предельная скорость сварки, при которой образуются подрезы, определяется шириной шва и диаметром силового пятна дуги, ограниченным давлением способным вызвать отеснение металла ванны с боковых стенок. Появление дефектов, с точки зрения авторов, соответствует равенству диаметра силового пятна дуги и ширины ванны. Очевидно и при таком понимании механизма образования подрезов вопрос о снижении силы давления дуги на сварочную ванну остаётся актуальным.

Существенное влияние на формирование швов при дуговой сварке могут оказывать и объемные электромагнитные силы, возникающие в жидком металле в результате взаимодействия магнитных полей токов, протекающих по дуге, жидкому металлу ванны и соединяемым деталям. Исследования, проведенные в работе [6] показали, что в зависимости от направления сварки относительно токоподвода образующиеся объемные электромагнитные силы могут изменять расположение сварочной ванны и, как следствие, оказывать существенное влияние на формирование шва.

С повышением скорости сварки уменьшается тепловложение в боковые кромки ванны, уменьшается электрическое сопротивление в зоне сплавления и увеличивается плотность тока протекающего через кромки ванны, вследствие чего изменяется электромагнитное поле сварочного тока. При этом уменьшается индукция электромагнитного поля сварочного тока позади дуги и возрастает электромагнитная индукция в зоне сплавления. В результате увеличивается электромагнитная сила и электромагнитное давление на жидкий металл в зоне сплавления. Под действием последнего жидкий металл стекает с кромок ванны и образуются подрезы [1].

Анализ проведенных исследований позволяет прийти к следующим выводам: силовое воздействие дуги на жидкий металл сварочной ванны является основной причиной дефектного

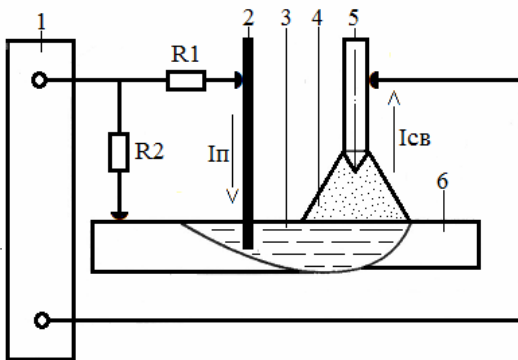
## Технологія машинобудування

формирования шва с повышением тока и скорости сварки; по вопросу образования подрезов нет существенных противоречий, так как одни рассматривают условие формирования шва на основе всеобщего закона равновесия действующей и противодействующей сил, а другие акцентируют внимание на особенностях образования дефектов в связи с нарушениями этого равновесия, вызываемыми пространственными изменениями источника нагрева и перераспределением плотности Лоренцевых сил по расплаву сварочной ванны; характер силового воздействия дуги на жидкий металл сварочной ванны в значительной степени определяется распределением тока по изделию, особенно в непосредственной близости от дуги.

### 3. Изложение основного материала

Эксперименты проводились при автоматической сварке пластин из стали 12Х18Н10Т по схеме приведенной на рис. 1. Сварку стыковых швов выполняли на постоянном токе прямой полярности в нижнем положении вольфрамовым электродом марки ЭВЛ (ГОСТ 23949-80) диаметром 4 мм в аргоне высшего сорта (ГОСТ 10157-79) на автомате АДСВ-2М. Установка позволяла визуально наблюдать процессы в дуге и сварочной ванне, проектировать их с увеличением на экран, а также кинографировать в отраженном свете [8]. Дуга зажигалась при перемещении пластины относительно вольфрамового электрода, гасилась с предварительным оплавлением присадочной проволоки. Расход защитного газа во всех опытах оставался постоянными и был равен 11 л/мин. Свариваемые образцы были подвергнуты специальной обработке по их очистке. Газоподводящую аппаратуру, шланги и сварочную горелку тщательно промывали спиртом перед началом сварочных работ и регулярно очищали и промывали в процессе работы.

Поведение сварочной дуги в магнитном поле тока  $I_p$  в присадочной проволоке, изучали путём её фотографирования с последующим фотометрированием плёнок на микрофотометре МФ-2.



**Рис 1** – Схема проведения экспериментов: 1 – источник питания; 2 – присадочная проволока; 3 – сварочная ванна; 4 – сварочная дуга; 5 – вольфрамовый электрод; 6 – свариваемый образец

где  $A_0$  – отсчет по шкале микрофотометра для незасвеченной плёнки;  
 $A$  – то же, только для засвеченных точек на негативе.

Эксперименты проводили для дуги прямой полярности длиной  $l_d=3$  мм. Использовали фотоаппарат «Зенит Е». Режим фотографирования: светофильтр марки Э-2; выдержка 1:25; диафрагма 5.6; светочувствительность фотоплёнки 130 ед.

Полученные после фотографирования негативные кадры дуги на фотоплёнке фотометрировали по линиям находящимся у основания дуги.

За единицу интенсивности засветки негатива принимали величину, называемую относительной интенсивностью засветки

$$S = \lg A_0/A,$$

Оптимальный размер щели микрофотометра обеспечивающий достаточную чувствительность замеров, находился в пределах 3мм. Интервал фотометрирования принимали, исходя из возможностей прибора МФ-2, равный 0,5 мм.

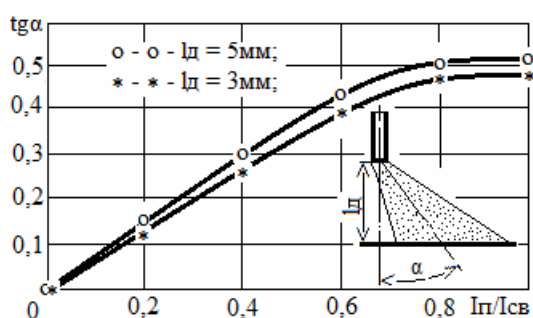
Зависимость  $\operatorname{tg}\alpha$  от величины тока в присадочной проволоке определяли из отношения:

$$\operatorname{tg}\alpha = x/l_d,$$

где  $x$  – расстояние от максимальных фотопочернений нормально горячей дуги и дуги в магнитном поле тока в присадочной проволоке;

$l_d$  – длина дуги.

Как видно из приведенных зависимостей (рис. 2.), сварочная дуга постоянного тока с вольфрамовым катодом хорошо управляется магнитным полем током в присадочной проволоке, в пределах угла отклонения 0-30°, что может способствовать качественному формированию шва при повышении скорости сварки [4, 5].

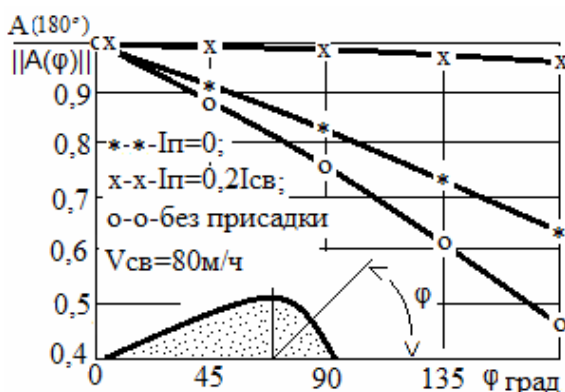


**Рис. 2** – Зависимость угла отклонения дуги от тока в присадочной проволоке

Введение присадочной проволоки в хвостовую часть сварочной ванны способствует не только отклонению дуги «углом вперед», но и перераспределению тока по пластине в зоне сварки. Эксперименты, проведенные по методике приведенной в работе [9] показали, что при  $I_p = 0$  происходит некоторое перераспределение тока в зоне сварки (рис. 3). Введение в хвостовую часть сварочной ванны присадочной проволоки приводит к уменьшению её длины и, как следствие, при  $I_p = 0$  некоторому перераспределению

тока в зоне сварки (рис. 3). Так, при  $V_{св} = 80$  м/ч величина  $\frac{A(180^\circ)}{\|A(\varphi)\|}$  возрастает от 0,47 до 0,63.

Обстановка существенным образом меняется когда по присадочной проволоке протекает часть сварочного тока (рис. 3). Так, при  $I_p = 0,2I_{св}$  величина  $\frac{A(180^\circ)}{\|A(\varphi)\|}$  увеличивается от 0,47 до 0,97.



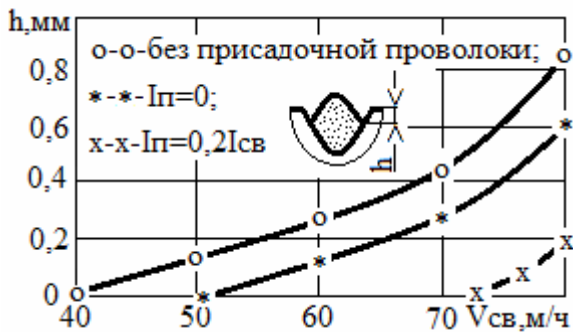
**Рис. 3** – Распределение тока по пластине в зоне сварки

Как следует из приведенных зависимостей, введение в хвостовую часть сварочной ванны обесточенной присадочной проволоки приводит к незначительному перераспределению тока в зоне сварки, что может быть объяснено уменьшению её длины. Так, при  $V_{св} = 80$  м/ч величина  $\frac{A(180^\circ)}{\|A(\varphi)\|}$  возрастает от 0,47 до 0,63.

Обстановка существенным образом меняется когда по присадочной проволоке протекает часть сварочного тока (рис.3). Так, при  $I_p =$

$0,2I_{св}$  величина  $\frac{A(180^\circ)}{\|A(\varphi)\|}$  увеличивается от 0,47 до 0,97.

С подачей присадочной проволоки в хвостовую часть сварочной ванны меняется и характер зависимости величины подреза от скорости сварки (рис. 4).



**Рис. 4** – Характер изменения величины подреза с повышением скорости сварки и тока в присадочной проволоке

катодом в аргоне магнитным полем тока, текущего по присадочной проволоке подаваемой в хвостовую часть сварочной ванны параллельно электроду в плоскости свариваемого стыка.

2. Введение в хвостовую часть сварочной ванны токоподводящей присадочной проволоки позволяет регулировать распределение тока в зоне дуговой сварки, что может расширить возможности формирования швов без подрезов при сварке с повышенной скоростью.

#### Список использованных источников:

1. Влияние скорости сварки на магнитное поле сварочного контура / В.И. Щетинина, С. В. Щетинин, Н. И. Чапни, А. Е. Щербина // *Автоматическая сварка*. – 2002. – № 2. – С.14-17.
2. Патон Б. Е. Некоторые особенности формирования швов при сварке с повышенной скоростью // Б. Е. Патон, С. Л. Мандельберг // *Автоматическая сварка*. – 1971. – № 8. – С. 1-6.
3. Ерохин А. А. Влияние угла заточки вольфрамового катода на образование подрезов и газовых полостей при сварке // А. А. Ерохин, В. А. Букаров, Ю. С. Ищенко // *Сварочное производство*. – 1972. – № 5. – С. 20-21.
4. Ковалёв И. М. Некоторые особенности формирования сварных соединений при сварке с неплавящимся катодом / И. М. Ковалёв // *Сварочное производство*. – 1972. – № 10. – С. 3-5.
5. Ковалёв И. М. Изучение потоков жидкого металла при аргонодуговой сварке неплавящимся электродом / И. М. Ковалёв // *Сварочное производство*. – 1974. – № 9. – С.10-12.
6. Мандельберг С. Л. Влияние расположения токоподвода на формирование швов при однодуговой сварке / С. Л. Мандельберг, Б. Г. Сидоренко, В. Е. Лопата // *Автоматическая сварка*. – 1976. – № 8. – С. 11-15.
7. Чернышов Г. Г. Влияние теплового потока и давления дуги на предельную скорость сварки / Г. Г. Чернышов, В. Л. Ковтун // *Сварочное производство*. – 1985. – № 2. – С. 14-15.
8. Ильенко Н. А. Исследование процессов сварки при помощи фотокинографирования в отражённом потоке света / Н. А. Ильенко, В. Ф. Сидоренко, Б. Ф. Кусков // *Сварочное производство*. – 1978. – № 6. – С. 50-51.
9. Ситников Б. В. О распределении тока в зоне дуговой сварки / Б. В. Ситников, Е. В. Береснева // *Восточно-европейский журнал передовых технологий*. – 2007. – № 3/1(27). – С. 61-64.

#### References

1. Shchetinina, V, Shchetinin, S, Chapni, N & Shcherbina, A 2002, 'Vliyaniye skorosti svarki na magnitnoye pole svarochnogo kontura', *Avtomaticheskaya svarka*, no. 2, pp. 14-17.
2. Paton, B & Mandelberg, S 1971, 'Nekotoryye osobennosti formirovaniya shvov pri svarke s povyshennoy skorostyu', *Avtomaticheskaya svarka*, no. 8, pp. 1-6.
3. Erokhin, A, Bukarov, V & Ishchenko, Yu 1972, 'Vliyaniye ugla zatochki volframovogo katoda na obrazovaniye подрезов i gazovykh polostey pri svarke', *Svarochnoye proizvodstvo*, no. 5, pp. 20-21.
4. Kovalev, I 1972, 'Nekotoryye osobennosti formirovaniya svarynykh soyedineniy pri svarke s neplavyashchimsya katodom', *Svarochnoye proizvodstvo*, no. 10, pp. 3-5.
5. Kovalev, I 1974, 'Izucheniye potokov zhidkogo metalla pri argonodugovoy svarke neplavyashchimsya elektrodom', *Svarochnoye proizvodstvo*, no. 9, pp. 10-12.
6. Mandelberg, S, Sidorenko B & Lopata, V 1976, 'Vliyaniye raspolozheniya tokopodvoda na formirovaniye shvov pri odnodugovoy svarke', 1976, *Avtomaticheskaya svarka*, no. 8, pp. 11-15.
7. Chernyshov, G & Kovtun, V 1985, 'Vliyaniye teplovogo potoka i davleniya dugi na predelnuyu skorost svarki', *Svarochnoye proizvodstvo*, no. 2, pp. 14-15.
8. Ilyenko, N, Sidorenko, F & Kuskov, B 1978 'Issledovaniye protsessov svarki pri pomoshchi fotokinografirovaniya v otrazhennom potoke sveta', *Svarochnoye proizvodstvo*, no. 6, pp. 50-51.
9. Sitnikov, B & Beresneva, E 2007, 'O raspredelenii toka v zone dugovoy svarki', *Vostochno-yevropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy*, no. 3/1(27), pp. 61-64.

Стаття надійшла до редакції 4 листопада 2016 р.

Таким образом введение в хвостовую часть сварочной ванны токоподводящей присадочной проволоки позволяет получать швы без подрезов при увеличении скорости сварки более чем в 1,7 раза при качественном формировании обратного валика (рис.5, в).

#### Выводы

1. Показана возможность отклонения дуги углом вперёд при сварке вольфрамовым