

2. Был рассмотрен вариант использования отпуска сварного соединения (этот вариант не рассматривался в полной мере т.к. на предприятии нет возможности проведения операции). Однако, как видно из рисунка

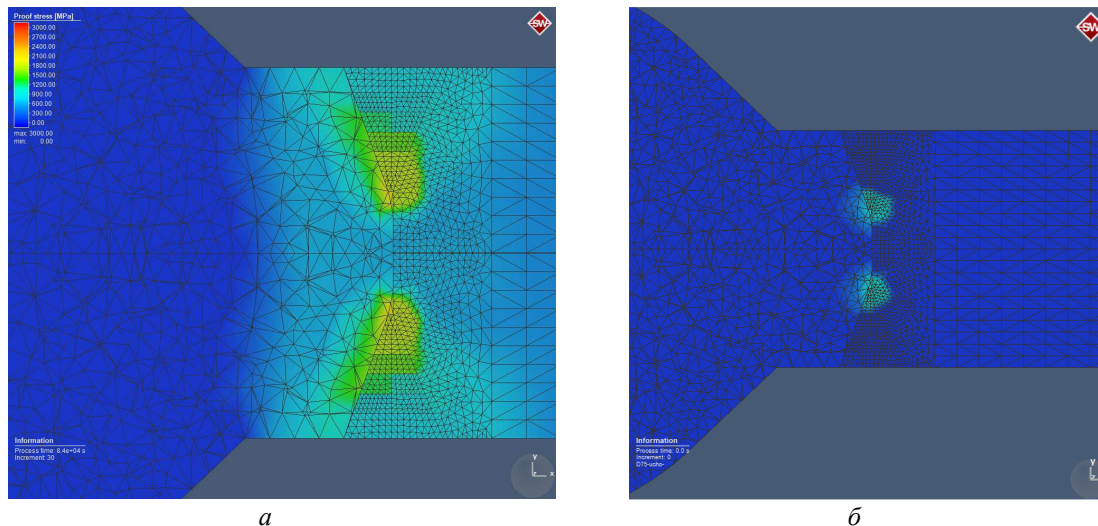


Рис. 4. Результаты моделирования (при наличии предварительного подогрева и последующей термообработки)  
 а – Остаточные напряжения, б – объёмная доля мартенсита

#### Заключение

Разработана симуляционная модель процесса сварки штока гидроцилиндра с ухом, позволяющая производить оценку влияния элементов технологии и их режимов на качество получаемого изделия.

По результатам моделирования были сформированы рекомендации по оптимизации технологического процесса.

#### Список используемых источников:

1. Лившиц Л.С., Хакимов А.Н. Металловедение сварки и термическая обработка сварных соединений. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1989.-336с.

### ТЕХНОЛОГИЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОЧНОСТИ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ MIG-MAG СВАРКЕ

С.А. Солодский<sup>а</sup>, к.т.н., доц., Т.С. Сайлаухан студент гр. 10А12

Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского

Томского политехнического университета.

Россия, г. Юрга, ул. Ленинградская, 26.

E-mail: solodskiy@tpi.ru

**Аннотация.** Предложен новая технология реализации управления процессом MAG, MIG-сварки при питании сварочной дуги переменным током промышленной частоты с технологическим оборудованием, обеспечивающим импульсную подачу сварочной проволоки в зону горения дуги. Процесс обеспечивает снижение теплового воздействия на зону термического влияния, стабилизирует время образования капли электродного металла за счет снижения внешнего магнитного воздействия на сварочную дугу. По результатам исследований сформулированы основные критерии управления переносом электродного металла при ее питании от источников переменного тока.

**Ключевые слова:** прочность соединения, MIG-MAG.

**Abstract.** A new technology is proposed for the implementation of MAG, MIG-welding process control when the welding arc is powered by an alternating current of industrial frequency with technological equipment that provides pulsed supply of welding wire to the arc gorenje. The process reduces the thermal effect on the zone of thermal influence, stabilizes the time of formation of a drop of electrode metal by reducing

the external magnetic effect on the welding arc. Based on the results of the research, the main criteria for controlling the transfer of electrode metal when it is powered from alternating current sources are formulated.

**Keyword:** joint strength, MIG-MAG.

Актуальность

Условия существования дуги при ее питании от источников переменного тока промышленной частоты отличаются от условий ее существования при питании постоянным током. При синусоидальном напряжении частоты 50 Гц активное пятно на катоде сто раз в секунду изменяет свое напряжение. К концу каждого полупериода синусоидальное напряжение уменьшается до нуля; при этом уменьшается напряженность электрического поля разрядного промежутка. Вследствие этого уменьшается степень ионизации газа в столбе дуги, рассасывается пространственный объемный заряд в приэлектродных областях. Все это ухудшает условие поддержания стабильного дугового разряда [1]. Однако сварка на переменный ток дуги имеет ряд преимуществ, отсутствие дестабилизирующего воздействия внешнего магнитного поля дуги обеспечивает ее стабильность в пространстве, имеющее место катодное распыление в полупериоды, когда катодом является изделие, разрушается оксидная пленка. Дуга переменного тока дает более лучшее для сварного соединения распределение температурных полей, что сказывается на качестве микроструктуры и остаточных напряжениях. В мире переменный при сварке используется исключительно при сварке неплавящимся электродом алюминиевых металлов и сплавов, а также в случае дуговой сварки штучными электродами. В работе представлена новая технология механизированной дуговой сварки в среде защитных газов на переменном токе промышленной частоты, с технологическим оборудованием, обеспечивающим импульсную подачу сварочной проволоки в зону горения дуги, при сварке металлоконструкций в различных пространственных положениях. Данной проблемой занимались Патон Б.Е., Лебедев В.А., Микитин Я.И.

Реализация процесса

Как известно, MIG, MAG сварка на переменном токе имеет ряд ключевых достоинств по сравнению со сваркой на токах постоянных: отсутствие отклонений электрической дуги от оси электрода, низкая зона термического влияния и более оптимальный температурный цикл за счет модуляции тока дуги, лучшее перемешивание и очищение металла шва за счет смены полярности переменного тока дуги [2]. Очищающее действие сварочной дуги при сварке переменным током проявляется в те полупериоды, когда катодом является изделие благодаря катодному распылению, так как в этом случае происходит разрушение окисной и нитридной пленок.

Несмотря на это MIG, MAG сварка на переменном токе не нашла распространения из-за недостатка, ограничивающего этот способ в использовании.

Недостаток заключается в том, что условием стабильного горения дуги при дуговой сварке в защитной среде инертных газов на переменном токе является регулярное восстановление разряда при смене полярности, поэтому для возбуждения дуги переменного тока требуется источник питания с повышенным напряжением холостого хода. При MIG, MAG - сварке происходит искажение кривой тока дуги и в ней появляется постоянная составляющая, которая вызывает появление в сварочной цепи постоянной составляющей тока. Постоянная составляющая тока в свою очередь создает постоянное магнитное поле в сердечнике трансформатора и дросселя, что приводит к уменьшению мощности сварочной дуги и ее устойчивости. Одним из главных ограничений применения сварки на переменном токе является короткое замыкание дугового промежутка при переходе электродного металла в сварочную ванну. Решение всех недостатков позволит получить энергосберегающий способ сварки и повысить качество сварных соединения за счет лучшего термического цикла и более интенсивных процессов раскисления и рафинирования металла [3].

Предлагаемая технология сварки заключается в следующем. Сварка ведется в среде защитных газов с питанием электрической дуги переменным током, с одновременным применением двух источников импульсов механического и электрического. Сварку ведут на переменном токе промышленной частоты, синхронизированную с циклами импульсной подачи сварочной проволоки с управлением процессом за счет каналов обратной связи (Рисунок 1). Плавление сварочной проволоки осуществляют в цикле нарастания тока дуги T1 по синусоидальному закону, согласованному с циклом паузы подачи проволоки. Перенос электродного металла происходит с коротким замыканием дугового промежутка в цикле спада и смены полярности тока дуги T2 за счет импульса подачи сварочной проволоки. Зажигание дуги осуществляют принудительным движением проволоки от сварно-

го шва в цикле нарастания тока дуги. Для этого используется оригинальный импульсный механизм подачи проволоки (Рисунок 2) [4]

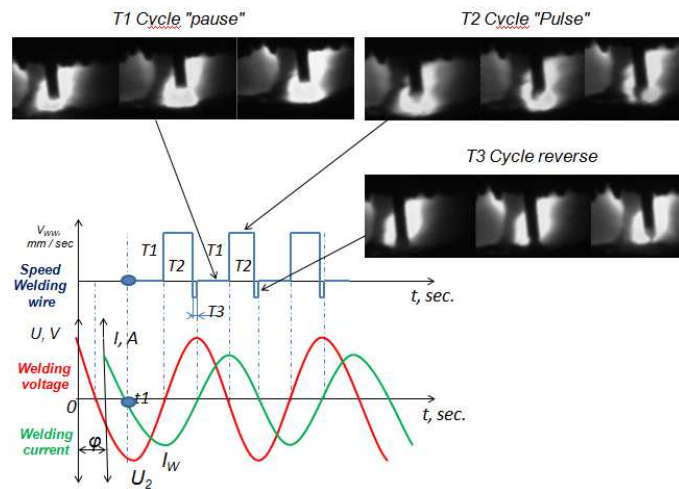


Рис. 1. Циклограмма процесса сварки.

Особенности технологии заключается в следующем. Плавление сварочной проволоки и первоначальное формирование капли электродного металла осуществляется в момент отсутствия подачи сварочной проволоки в момент времени, когда полярность дуги переменного тока промышленной частоты – обратная. Во время паузы в подаче сварочной проволоки при горении дуги на обратной полярности, когда анод горячее катода, увеличивается скорость плавления и при этом формируется капля электродного металла. Далее происходит импульс подачи сварочной проволоки в момент T1, когда синусоида напряжения дуги достигает нулевого значения, а ток дуги, сдвинутый по фазе, плавно снижаясь, стремится к нулю и, соответственно, перенос жидкой капли электродного металла через дуговой промежуток происходит при минимальном давлении на нее сил сварочной дуги. Процесс перехода капли в сварочную ванну происходит с коротким замыканием дугового промежутка во время перехода тока дуги с обратной полярности на прямую, и в период окончания цикла импульса подачи проволоки T2. При этом ток дуги имеет небольшое значение, что уменьшает силу газодинамического удара при разрыве перемычки, и способствует более плавному переходу электродного металла в изделие. Стабилизация поджига дуги и снижение времени разрыва жидкой перемычки электродного металла между сварочной проволокой и сварочной ванной происходит за счет управляемого по каналам обратной связи поступательного движения сварочной проволоки вверх от изделия [5].

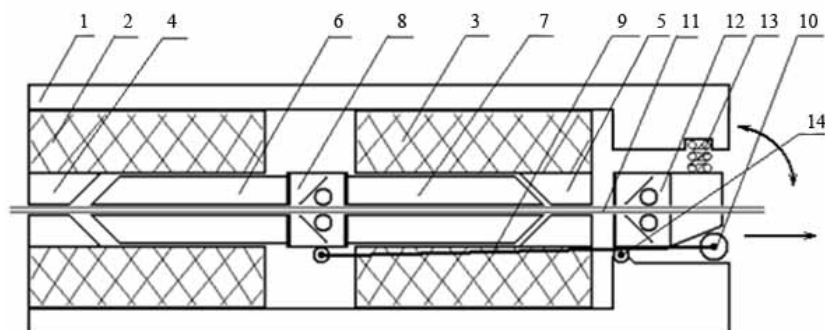


Рис. 2. Конструкция импульсного механизма подачи сварочной проволоки.

1 – корпус, 2, 3 – электромагнитные катушки; 4, 5 – сердечники; 6, 7 – якоря, 8, 12 – шариковые захваты для проволоки; 9 – штанга; 10 – ролик 11 – сварочная проволока; 13 – пружина сжатия.

Механизм импульсной подачи сварочной проволоки работает следующим образом. При подаче электроэнергии на катушку электромагнита 3 якорь 7 втягивается в нее и тянет за собой якорь 6.

При этом захват 8 заклинивается и тянет за собой проволоку 11, которая свободно скользит через зажим 12. После переключения электроэнергии на катушку 2 происходит обратный процесс, т.е. якорь 6 втягивается в катушку 2 и тянет за собой якорь 7. В этом случае захват 12 заклинивается, а зажим 7 свободно скользит по проволоке 11, одновременно с возвратом якоря 6 через штангу 9 происходит перемещение ролика 10, который перемещаясь, приподнимает передний край захвата 13 закрепленного на шарнире 14. Поворот зажима 12 приводит к обратному движению проволоки 11 из зоны сварки, что приводит к принудительному обрыву жидкой перемычки между проволокой и сварочной ванной. Пружина 13 фиксирует зажим 12 относительно ролика 10.

Таким образом, попеременное включение катушек обеспечивает перемещение проволоки 11 в зону сварки – на чертеже показано стрелкой, при этом, зажим 12, относительно оси 14 совершает колебательные движения – показанные стрелкой и обрывает во время возвратного движения якоря 7 жидкую перемычку между проволокой и сварочной ванной.

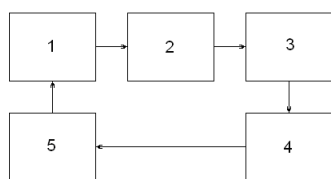


Рис. 3. Блок схема управления импульсным подающим механизмом. 1 – блок коррекции; 2 – генератор импульсов; 3 – силовая часть электрической схемы; 4 – импульсный подающий механизм; 5 – сварочная дуга

Кроме этих условий для получения качественного сварного шва силовая часть электрической схемы, управляющая работой привода подачи проволоки, должна учитывать индуктивный характер нагрузки (электромагнита или электродвигателя).

Исходя из выше сказанного, механизм импульсной подачи сварочной проволоки вместе с электрической схемой и сварочной дугой должен представлять систему автоматизированного управления, важнейшей частью которого является система обратной связи. Такая схема управления (Рис. 5, 6) может работать с любым приводом (электромагнитным или приводом с помощью электродвигателя) импульсной подачи сварочной проволоки.

Блок коррекции должен следить за изменением параметров сварочной дуги и в зависимости от этого вносить соответствующие изменения в тракт движения сварочной проволоки. Такая коррекция происходит на уровне образования и переноса капли электродного металла в сварочную ванну. Следовательно, этот блок должен иметь обратную связь по напряжению или по току, принципиальная электрическая схема представлена на рис. 4.

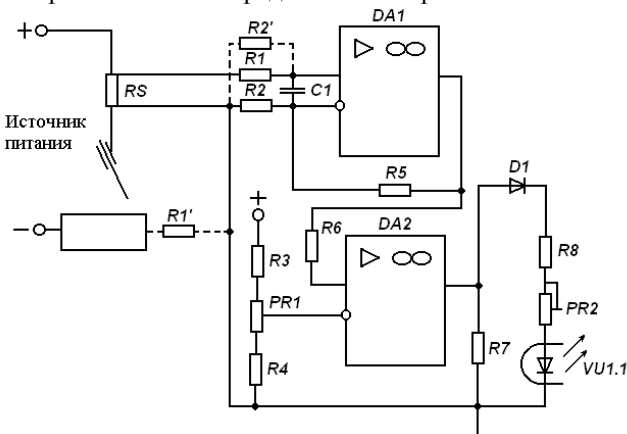


Рис. 4. Блок коррекции системы управления механизмом импульсной подачи сварочной проволоки

Блок коррекции параметров дуги включает в себя датчик сварочного тока или напряжения дуги (DA1) и узел согласования, который согласует параметры сварочной дуги и входной импеданс блока управления и тем самым осуществляет гибкую обратную связь по току или напряжению (обратная связь по напряжению обозначена пунктиром). Кроме того, в состав блока входит схема сравнения заданного напряжения с сигналом обратной связи (DA2) и в зависимости от установки движка потенциометра (PR1) выдает сигнал коррекции на генератор импульсов. Для согласования работы блока коррекции генератора импульсов, а так же ис-

ключения электрической связи между ними необходимо ввести гальваническую развязку трансформаторную или оптронную (VU1).

Материал и методы исследования

Лабораторные испытания показали возможность использования предлагаемого способа в промышленных условиях. При исследовании механических свойств сварных соединений из стали 30ХГСА, выполненных в среде углекислого газа сварочной проволокой Св-08Г2С выявлено, что при использовании предлагаемого способа происходит увеличение ударной вязкости [6].

Таблица

Результаты механических испытаний сварных образцов из стали  
30ХГСА (многослойная сварка поворотного стыка трубы) [7, 8]

Способ сварки	Временное сопротивление разрыву, мПа	Ударная вязкость КСВ, Дж/см <sup>2</sup> , при 200С	Твердость шва, НВ	Твердость ЗТВ, НRC (НВ)
Традиционный способ (на постоянном токе)	635	141	167	22(198)
Предлагаемый способ	634	167	153	23(207)

Металлографические исследования сварных соединений (Рисунок 3) из стали 09Г2С показали снижение зоны термического влияния до 15% по сравнению с процессом механизированной сварки в среде защитных газов на постоянном токе за счет циклов нарастания и спада тока дуги со сменой его полярности. Видеосъемка и осциллографирование процесса сварки показало стабилизацию процесса переноса электродного металла за счет отсутствия осевых отклонений дуги и снижение разбрызгивания электродного металла до 4%.

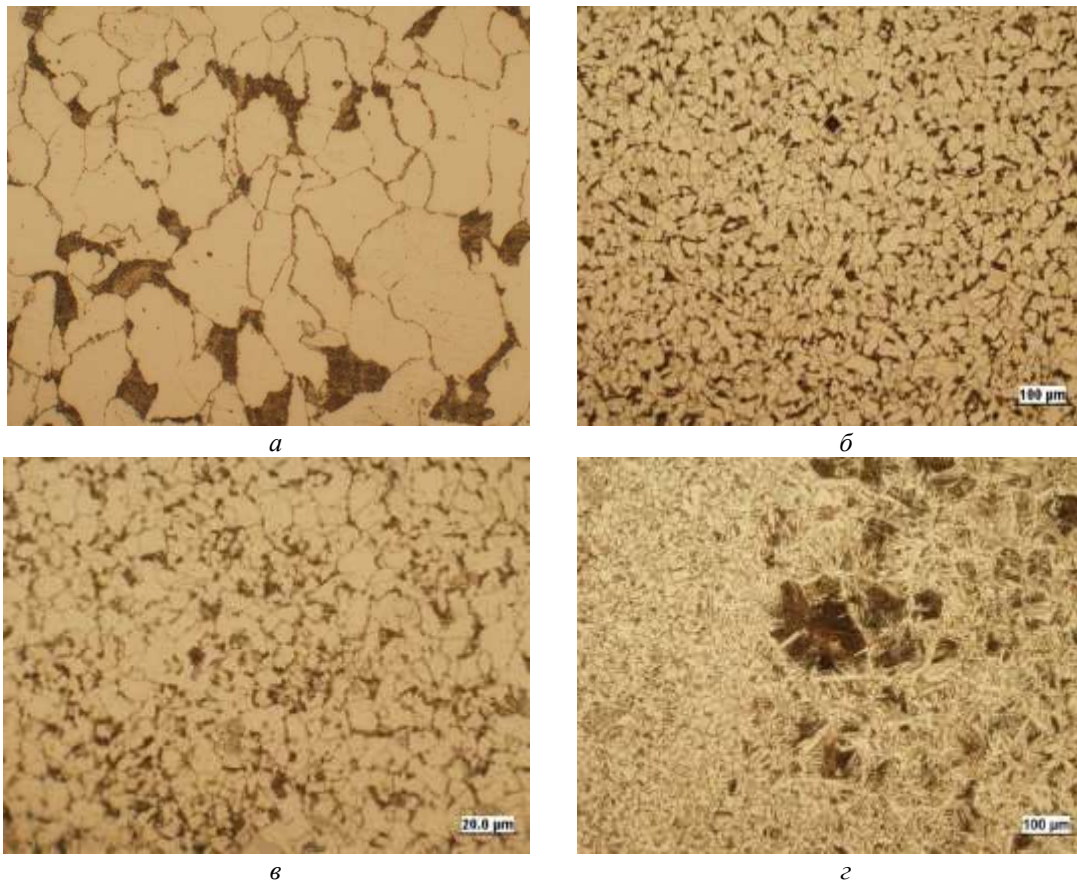


Рис. 3. Микроструктура сварного шва: а, б – микроструктура стали 09Г2С, в – микроструктура ЗТВ сварного соединения (сварка на переменном токе дуги); г – микроструктура ЗТВ сварного соединения (традиционный способ сварки)

#### Выводы

Разработанная технология позволяет:

- согласовать перенос электродного металла с циклами смены полярности тока промышленной частоты за счет импульсной подачи сварочной проволоки при токе, близком к нулю и минимальном давлении сил дуги при снижении тока дуги по синусоидальному закону, за счет импульса по-

дачи проволоки. Стабилизировать перенос электродного металла в сварочную ванну, за счет управления процессом по каналам обратной связи автоматизированной системой управления. Перенос осуществляется с промышленной частотой 50 Гц,

- б. снизить размер переносимой капли электродного металла вследствие снижения тока дуги по синусоидальному закону и, как следствие, отсутствия давления дуги во время переноса капли, что позволяет получать мелкокапельный перенос, снижение теплоемкости электродного металла и выгорания легирующих элементов, что приводит к увеличению ударной вязкости сварного соединения.
- в. уменьшить время перехода капли электродного металла со сварочной ванны в связи с тем, что короткое замыкание и одновременный переход капли электродного металла в сварочную ванну осуществляется в момент перехода тока через ноль и смены его полярности с обратной на прямую, что приводит к снижению силы газодинамического удара до минимума. Это способствует снижению потерь электродного металла на разбрызгивание до 4%,
- г. уменьшить ширину зоны термического влияния сварного соединения до 15%, за счет циклического и плавного, по синусоидальному закону, изменения тока дуги и его полярности и, как следствие, циклической эмиссии электронов с катода, что приводит к получению более равновесной, мелкозернистой микроструктуры сварного соединения,
- д. повысить энергоэффективность процесса сварки за счет снижения энергопотребления процесса сварки при использовании для питания электрической дуги сварочные трансформаторы переменного тока.
- е. снижение зоны термического влияния и хорошее перемешивание металла шва происходит без использования дорогостоящих высокотехнологичных импульсных источников питания

Список используемых источников:

1. Saraev Y. Adaptiv pulse-arc welding methods for construction and repair of the main pipelines. Proceedings of The 2nd South-East European IIW International Congress "Welding – HIGH-TECH Technology in 21st century". Sofia, Bulgaria, October 21st-24th 2010, p. 174 – 177.
2. Lebedev V.A. Creating mechanized arc-welding equipment with pulsed electrode supply. Russian engineering research. 2009. Т. 29. № 2. с. 131-135.
3. Chinakhov D.A., Agrenich E.P. Computer simulation of thermo-mechanical processes at fusion welding of alloyed steels // Materials Science Forum. - Vols. 575-578 (2008). - Pp. 833-836.
4. Brunov, O.G., Solodskii, S.A. Physico-mathematical modelling of the transfer of electrode metal droplets into the weld pool. Welding International. 2009. 23 (12), pp. 930-933
5. Патон Б.Е., Лебедев В.А., Пичак Б.Г., Полосков С.И. Эволюции систем импульсной подачи электродной проволоки для сварки и наплавки. Сварка и диагностика. 2009. № 3. с. 46-50.
6. Brunov, O.G., Solodskii, S.A., Zelenkovskii, A.A. Conditions of arc ignition in welding in shielding gases/Welding International 2012 26 (9), pp. 710-7127. Chinakhov D. A. Study of thermal cycle and cooling rate of steel 30ХГСА single-pass weld joints // Applied Mechanics and Materials. – Vols. 52-54. – 2011. – p. 442-447. - Mode of access: <http://www.scientific.net/AMM.52-54.442>
7. Valuev D. V. , Danilov V. I. Reasons for Negative Formation of Structures in Carbon Steel Processing of Pressure // 7th International Forum on Strategic Technology (IFOST - 2012): Proceedings: in 2 vol., Tomsk, September 18-21, 2012. - Tomsk: TPU Press, 2012 - Vol. 2 - p. 151-154.

#### СРАВНЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ НАПЛАВКИ ПРИ РУЧНОЙ И АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПОДАЧЕ ПОКРЫТЫХ ЭЛЕКТРОДОВ

*А.С. Гордынец<sup>1</sup>, доцент, к.т.н., А.С. Непомнящий<sup>1,2</sup>, студент гр. 1В81*

*<sup>1</sup>Томский политехнический университет,*

*634050, г. Томск, пр. Ленина 30, тел. (3822)-444-555*

*<sup>2</sup>Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск*

*E-mail: asn39@tpu.ru*

**Аннотация.** В статье показаны результаты сравнения показателей производительности наплавки при ручной и автоматической подачи покрытых электродов, экспериментально доказано, что применение автоматической подачи покрытых электродов снижает потери на разбрызгивание и угар, также повышаются стабильность горения дуги и характеристики тепломассопереноса.

**Abstract.** The article shows the results of comparing the performance indicators of surfacing with manual and automatic feeding of coated electrodes, it has been experimentally proven that the use of auto-