

## СНИЖЕНИЕ ТЕПЛОВЛОЖЕНИЯ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РЕМОНТНЫХ РАБОТ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ЧУГУНА

Д.П. Ильященко <sup>1</sup>, к.т.н., доц., Е.В. Лаврова <sup>2</sup>, д.т.н., доц.

<sup>1</sup>Юргинский технологический институт (филиал)

Национального исследовательского Томского политехнического университета

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26

<sup>2</sup>Приазовский государственный технический университет

287642, Донецкая Народная Республика, г. Мариуполь, ул. Университетская, 7

E-mail: mita8@tpi.ru

**Аннотация:** В работе представлены результаты энергетических характеристик источника питания дуговой сварки плавлением на тепловложение при проведении ремонтных работ изделий.

**Ключевые слова:** покрытые электроды, чугун, осциллограммы, источник питания.

**Abstract:** The paper presents the results of the energy characteristics of the fusion arc welding power source for heat input during product repair work.

**Keywords:** coated electrodes, cast iron, waveforms, power supply.

Сварка чугуна – процесс, сопряженный со значительными трудностями, обусловленными уникальными физико-химическими свойствами этого материала. В отличие от более податливых металлов, чугун демонстрирует высокую склонность к образованию напряжений, как тепловых, так и усадочных, что приводит к образованию хрупких закалочных структур и, как следствие, к появлению трещин в сварном шве. Эта проблема усугубляется плохой технологической свариваемостью чугуна, которая обусловлена его химическим составом и структурой. Высокое содержание углерода и кремния в чугуне способствует образованию ледебурита – эвтектической смеси цементита и аустенита, которая резко снижает пластичность и прочность сварного соединения.

Подбор присадочного материала для сварки чугуна представляет собой отдельную сложную задачу. Химический состав присадочного металла должен быть тщательно подобран с учетом химического состава основного металла, чтобы обеспечить минимальное различие в свойствах сварного шва и основного металла. Неправильный подбор присадочного материала может привести к образованию пористости, неметаллических включений и других дефектов [1–4], значительно снижающих прочность и долговечность сварного соединения. Более того, даже при правильном подборе присадочного материала, необходимо строго контролировать условия кристаллизации сварочной ванны и последующего охлаждения, чтобы предотвратить образование напряжений и трещин. Быстрое охлаждение может привести к образованию мартенсита – чрезвычайно хрупкой структуры, а слишком медленное – к образованию крупнокристаллической структуры, также снижающей прочность.

Для минимизации негативных эффектов, связанных с тепловым воздействием на чугун во время сварки, необходимо применять специальные технологии и режимы сварки, обеспечивающие минимальное тепловложение. Использование инверторных источников питания является одним из ключевых аспектов успешной сварки чугуна [5]. Инверторные источники позволяют более точно контролировать сварочный процесс, обеспечивая стабильную дугу и уменьшая размеры переносимых капель электродного металла. Меньшие капли означают меньшее количество выделяемого тепла, что, в свою очередь, снижает риск образования напряжений и трещин. Это особенно важно при ремонте крупных чугунных изделий, где локальное перегревание может привести к необратимым повреждениям.

Кроме использования инверторных источников, эффективным способом снижения тепловложения является модификация обмазки электродов. Введение в обмазку нанопорошков различных функциональных назначений позволяет оптимизировать процесс переноса металла [6], уменьшая размер капель и повышая стабильность дуги. Наночастицы, в зависимости от своего состава, могут влиять на поверхностное натяжение расплавленного металла, изменять скорость охлаждения сварочной ванны и способствовать образованию более мелкозернистой структуры сварного шва.

Научные исследования, посвященные совершенствованию технологий сварки чугуна, активно ведутся. Например, авторы одной из работ [7] анализируют современные тенденции в оборудовании для дуговой сварки плавлением и их влияние на стабильность сварочного процесса. Они подчеркивают важность использования современных инверторных источников с усовершенствованными системами управления для достижения оптимального качества сварного шва. Другие исследователи [8] сосредотачиваются на совершенствовании процесса сварки с коротким замыканием дуги, разрабатывая специальные алгоритмы управления работой инверторных источников, позволяющие снизить тепловложение и повысить качество сварного соединения. Эти исследования свидетельствуют о постоянном поиске новых решений, направленных на повышение эффективности и надежности сварки чугуна, что является важной задачей в различных отраслях промышленности, где используется это прочный, но сложный в обработке материал. В целом, успешная сварка чугуна требует комплексного

подхода, включающего тщательный подбор материалов, оптимизацию параметров сварочного процесса и использование современных технологий, что обеспечивает получение прочного и надежного сварного соединения.

Цель работы – выявить способы уменьшения тепло вложения при сварке чугунных изделий, за счет снижения переносимых капель электродного металла, что можно реализовать, используя современные источники питания.

Оценку стабильности процесса сварки (рисунок 1, 2) осуществляли с помощью статистической обработки осциллограмм сварочного тока и напряжения от источников питания, имеющих различные динамические характеристики. В качестве основных источников питания были выбраны: источник питания, изготовленный по классической схеме сварочного выпрямителя – типа ВДУ-506Э, далее «Источник 1» и 2 источника питания инверторного типа «Источник 2». Изучение динамических характеристик производилось на основе сравнения осциллограмм тока и напряжения, полученных с использованием: цифрового запоминающего осциллографа «Rigol»; дифференциального пробника «DC-1 МГц»; съемника «current probe PR 1030».

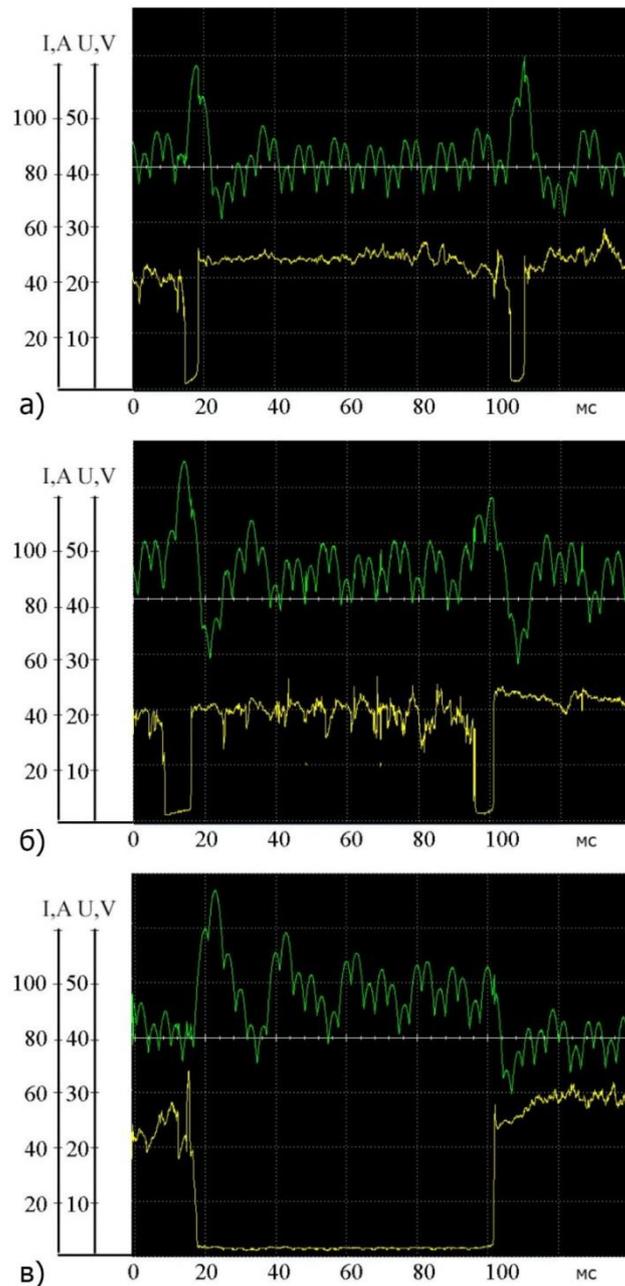


Рис. 1. Осциллограммы тока в сварочной цепи и напряжения между электродом и изделием (источник питания 1):  
а – электроды марки LB-52U диаметром 3,2 мм; б – электроды марки УОНИ-13/55 диаметром 3 мм;  
в – электроды марки ОЗЧ-4 диаметром 3 мм

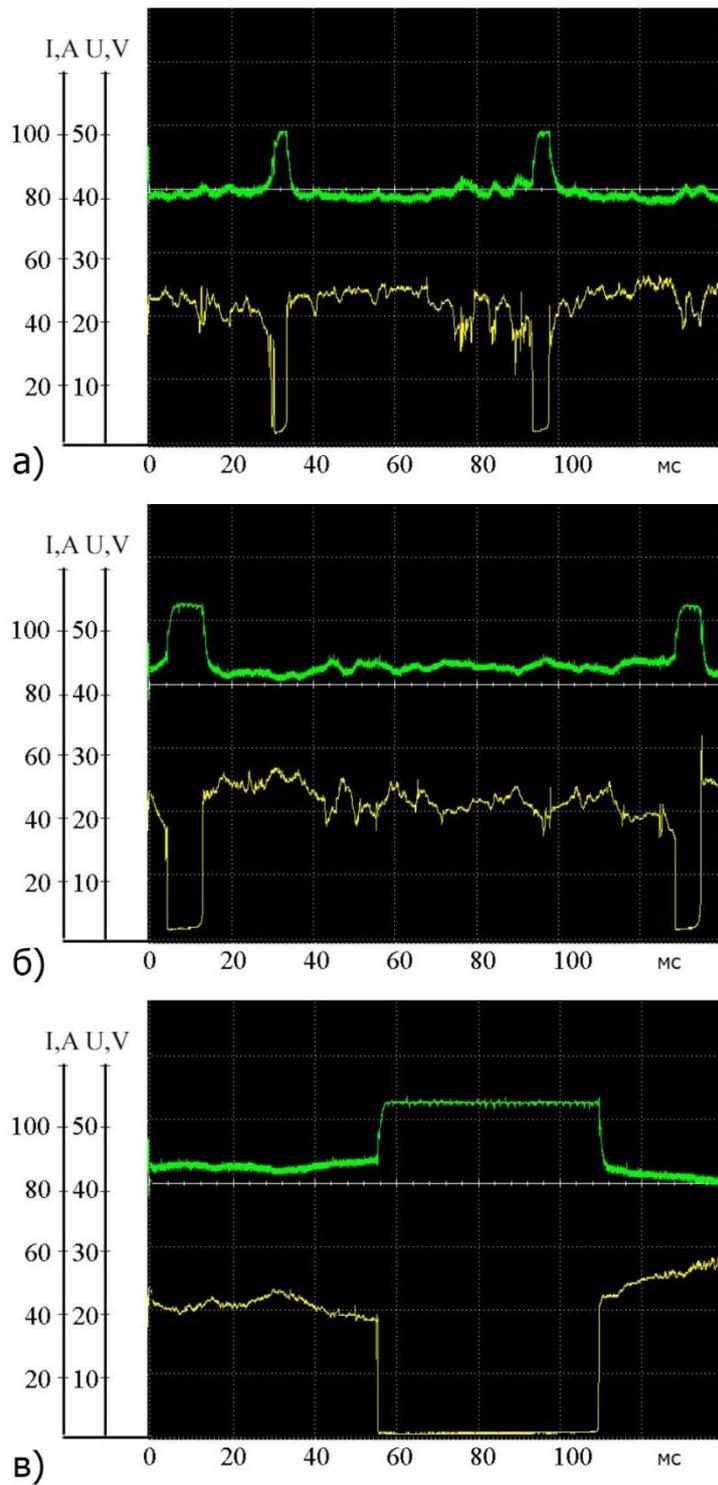


Рис. 2. Осциллограммы тока в сварочной цепи и напряжения между электродом и изделием (источник питания 2):  
а – электроды марки LB-52U диаметром 3,2 мм; б – электроды марки УОНИ-13/55 диаметром 3 мм;  
в – электроды марки ОЗЧ-4 диаметром 3 мм

В результате исследований было установлено (рисунок 1, 2), что характеристики тепломассопереноса существенно изменяются в зависимости от динамических характеристик, применяемых источников питания, что особенно важно при учёте технологических операций, выполняемых в процессе ремонта конструкций ответственного назначения чугунного исполнения.

Список использованных источников:

1. Cárcel-Carrasco, F.-J.; Pérez-Puig, M.-A.; Pascual-Guillamón, M.; Pascual-Martínez, R. An Analysis of the Weldability of Ductile Cast Iron Using Inconel 625 for the Root Weld and Electrodes Coated in 97.6 % Nickel for the Filler Welds. *Metals* 2016, 6, 283. – URL: <https://doi.org/10.3390/met6110283> (дата обращения: 15.02.2025).
2. Influence of thermo-deformational cycle of hardfacing on the structure and properties of railway wheels at their reconditioning / A.A. Gajvoronsky, V.D. Poznyakov, V.A. Sarzhevsky. – *Paton Weld. Sci. Tech.* – 2010. – 5. – P. 15–18.
3. Леонтьев Л.Б. Сварка ответственных деталей из серого чугуна / Л.Б. Леонтьев, А.В. Погодаев, С.П. Кобыляков, Е.Д. Дошенников // *Вестник ИШ ДВФУ.* – 2015. – № 4 (25). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/svarka-otvetstvennyh-detaley-iz-serogo-chuguna> (дата обращения: 09.03.2025).
4. Cárcel-Carrasco F.-J.; Pérez-Puig M.-A.; Pascual-Guillamón M.; Pascual-Martínez R. An Analysis of the Weldability of Ductile Cast Iron Using Inconel 625 for the Root Weld and Electrodes Coated in 97.6% Nickel for the Filler Welds. *Metals.* – 2016. – 6. – 283 с. – URL: <https://doi.org/10.3390/met6110283> (дата обращения: 15.02.2025).
5. Influence of thermo-deformational cycle of hardfacing on the structure and properties of railway wheels at their reconditioning / A.A. Gajvoronsky, V.D. Poznyakov, V.A. Sarzhevsky [and it.]. – *Paton Weld. – Sci. Tech.* – 2010. – 5. – С. 15–18.
6. Il'yashchenko D.P. The Effect of Energy Parameters of Power Sources on the Structure and Properties of Permanent Joints at Manual Arc Welding / D.P. Il'yashchenko, D.A. Chinakhov, E.V. Lavrova. – *Metals.* – 2024. – 14. – 759 с. – URL: <https://doi.org/10.3390/met14070759> (дата обращения: 15.02.2025).
7. Il'yashchenko D.P. Production of Electrodes for Manual Arc Welding with Using the Complex Modifiers: Pt. IV: Producing of Nanostructured Material and Investigations of Their Properties / D.P. Ilyashchenko, S.V. Makarov // Режим доступа: по договору с организацией-держателем ресурса. – URL: <http://www.appleacademicpress.com/applied-nanotechnology-materials-and-applications/9781771883504> (дата обращения: 15.02.2025).
8. Milyutin V.S. Testing the welding properties of arc welding equipment / V.S. Milyutin. – Ekaterinburg, 2019. – 466 p.

**ВЛИЯНИЕ РЕАГИРУЮЩИХ ГАЗОВ НА ДАВЛЕНИЕ ВО ФРОНТЕ ДЕТОНАЦИОННОЙ ВОЛНЫ  
В ПРОТОЧНОМ РЕАКТОРЕ ИМПУЛЬСНОГО ДЕЙСТВИЯ**

*А.А. Розный<sup>а</sup>, инж.-исслед., А.В. Собачкин, к.т.н., ст. науч. сотр., М.В. Логинова, к.т.н., ст. науч. сотр.  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова  
656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46  
E-mail: <sup>а</sup> alex.rozny@mail.ru*

**Аннотация:** В работе исследовалось влияния соотношения компонентов реагирующих газов, а также состава газовой смеси на давление во фронте детонационной волны. Для каждого случая были получены профили давления во фронте детонационной волны. Определены основные параметры для профилей давления. Результаты работы показывают, что при использовании пропан-бутан-кислородной смеси максимальные значения амплитуды давления практически не меняются при изменении соотношения газов. Давления при ударно-волновом нагреве в камере высокого давления для ацетиленокислородной смеси увеличивается с увеличением доли объема кислорода в смеси.

**Ключевые слова:** газовая детонация, детонационный поток, детонационно-газовый реактор.

**Abstract:** The work investigated the influence of the ratio of the components of the reacting gases, as well as the composition of the gas mixture on the pressure in the front of the detonation wave. For each case, the pressure profiles in the front of the detonation wave were obtained. The main parameters for the pressure profiles were determined. The results of the work show that using a propane-butane-oxygen mixture, the maximum values of the pressure amplitude practically do not change with a change in the gas ratio. The pressure during shock-wave heating in a high-pressure chamber for an acetylene-oxygen mixture increases with an increase in the proportion of oxygen in the mixture.

**Keyword:** gas detonation, detonation flow, detonation-gas reactor.

**Введение**

На данный момент газовая детонация приобрела широкое применение в различных областях науки и техники. Сверхзвуковой импульсный поток, формирующийся при детонации газовой смеси, является основой для некоторых технологических процессов обработки и получения материалов. Одним из таких процессов является детонационно-газовое напыление, позволяющее получать покрытия различной толщины и необходимыми физико-механическими свойствами [1]. Метод детонационного газового напыления взят за основу процесса, в котором гетерогенный синтез сочетается со сверхбыстрым нагревом [2].

Достаточно перспективным применением газовой детонации также можно назвать использование её для синтеза композиционных порошковых материалов. Ударно-волновой нагрев порошковых прекурсоров с после-