

УДК 621.791

к.т.н. Пасечник С. Ю.,

Пасечник А. Ю.

(ДонГТУ, г. Донецк, ДНР, aprel-tlsa@yandex.ru)

СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПОДОВЫХ ЭЛЕКТРОДОВ

Предложен способ электрошлаковой наплавки меди на сталь, позволяющий проводить наплавку слоя большой толщины на заготовки диаметром до 600 мм с минимальной зоной перемешивания, при изготовлении подовых электродов дуговых сталеплавильных печей. Результат достигается за счет регулирования вводимой тепловой мощности.

Ключевые слова: подовые электроды, электрошлаковая наплавка, зона перемешивания.

Тенденции развития электродуговых печей направлены на снижение шума, уменьшение количества выбросов газов и пыли. Данным требованиям соответствуют дуговые печи постоянного тока с подовым электродом.

В работе [1] отмечается снижение количества выбросов, по сравнению с печами переменного тока, в 7 раз и составляет 0,2 кг/т стали. Также авторы отмечают снижение расхода графитированных электродов до 1–1,1 кг на 1 т расплава, уменьшение угара металла ($\leq 1\%$), расхода ферросплавов (на 60–80%), уровня колебаний электрического режима (не выше 20% в начале плавки и 5% в последующие периоды плавления).

Особенностью конструкции печей является наличие подового электрода. Условия работы данного элемента отличаются значительной величиной теплового потока до $(2...2,5) \cdot 10^6$ Вт/м² для печей большой мощности [2].

В ходе эксплуатации происходит частичное подплавление электрода и, соответственно, разрушение прилегающей футеровки вследствие действия конвекционных потоков стали и образование анодной ямы. Данное явление не позволяет использовать в качестве материала медь, которая, растворяясь в стали, приведет к изменению ее химического состава. Поэтому принято изготавливать подовые электроды либо пластинчатыми (подключение токоведущих частей к электроду за кожухом печи, контакт с жидким металлом осуще-

ствляется посредством стальных пластин, чередующихся с огнеупором), либо стержневыми. Во втором случае стержень охлаждаются водой через каналы в электроде. Для увеличения теплового потока необходимо охлаждающие каналы расположить как можно ближе к рабочему торцу электрода. Однако это значительно увеличивает риск проплавления канала с последующей аварией. В связи с этим электроды изготавливают из биметалла, где рабочая, контактирующая с металлом часть выполнена из стали, а часть с каналами и элементами крепления токоведущих элементов — из меди не ниже М1.

Требования к таким изделиям: минимальная зона перемешивания меди и стали, отсутствие несплавлений. Решение данной задачи представляет значительные трудности, связанные с большой разностью температур плавления этих металлов, коэффициентов термического расширения, высокой их взаимной растворимостью в жидком состоянии.

В настоящее время такие биметаллические электроды изготавливаются несколькими способами.

Институт электросварки им. Патона предлагает либо способ последовательного электрошлакового переплава стальной и медной заготовки в кристаллизатор [3], либо способ автовакуумной пайки [4].

В первом варианте образуется значительная (до 100 мм) зона перемешивания, что приводит к существенному снижению теплопроводности.

Второй способ требует точной подгонки соединяемых заготовок (зазор не должен быть более 0,5 мм), наличие сложной вакуумной техники.

Технология фирмы «Danieli» предполагает соединение стальных и медных заготовок методом алюмотермической сварки. В данном случае сложности связаны с невозможностью управления процессом сварки.

В Донецком национальном техническом университете разработан способ электрошлаковой наплавки меди на сталь для получения крупных (до 1 тонны) биметаллических слитков.

Отличительной особенностью данного способа являются следующие моменты:

- наплавку осуществляют послойно в два этапа с контролем температуры околошовной зоны наплавляемой заготовки;

- процесс наплавки ведется с плавным изменением теплофизических свойств шлаковой ванны непосредственно в ходе плавки за счет изменения химического состава используемого флюса.

Первый (промежуточный) слой наплавляют электрошлаковым способом с применением флюса системы $\text{CaF}_2\text{-Na}_3\text{AlF}_6$ с содержанием основных компонентов (по массе) 80 % CaF_2 и 20 % Na_3AlF_6 . Подогрев стальной заготовки осуществляют графитовым нерасходуемым электродом до температуры, обеспечивающей смачивание стали медью. Температуру предварительного подогрева контролируют термомпарами, зачеканенными в тело стальной заготовки на расстоянии 10 мм от зоны сплавления.

По достижении заданной температуры стальной заготовки в сварочную ванну вводят наплавляемый материал — медь М00. Его можно подавать как в виде расходного электрода, подключенного к источнику питания, так и без подачи на него напряжения силового источника питания, в зависимости от температуры наплавляемой заготовки.

После наплавки первого слоя снижают вводимую в шлаковую ванну тепловую

мощность и прекращают подачу наплавочного материала и создают условия для кристаллизации наплавленного (промежуточного) слоя. Далее приступают к операции плавной смены химического состава расплавленного шлака (без его скачивания) с целью снижения температуры шлаковой ванны и обеспечения необходимых условий для бездефектной наплавки второго слоя меди.

Наплавку основного (рабочего) слоя меди производят на закристаллизовавшийся промежуточный слой с использованием флюса нового состава. При этом непрерывно контролируют температуру наплавляемой заготовки.

При увеличении температуры заготовки выше определенной величины производят коррекцию теплового режима наплавки путем уменьшения вводимой мощности либо увеличения количества теплоносителя в кристаллизаторе.

Схема установки представлена на рисунке 1.

После наплавки определенного количества металла второго слоя его дальнейшее наращивание можно проводить на любую величину.

Специалистами кафедры «Цветная металлургия и конструкционные материалы» совместно с кафедрой «Электрометаллургия» в лаборатории спецэлектрометаллургии ДонНТУ были проведены наплавочные работы по изготовлению опытного образца заготовки такого биметаллического электрода диаметром 700 мм и высотой наплавленного медного слоя 500 мм на стальную основу высотой 600 мм. На рисунке 2 показан момент изготовления такой заготовки.

Исследования наплавленного опытного образца (рис. 3) проводили по известной методике: изготовление образцов на механические испытания из различных зон слитка, исследование микро и макроструктуры зоны сплавления и т. д.

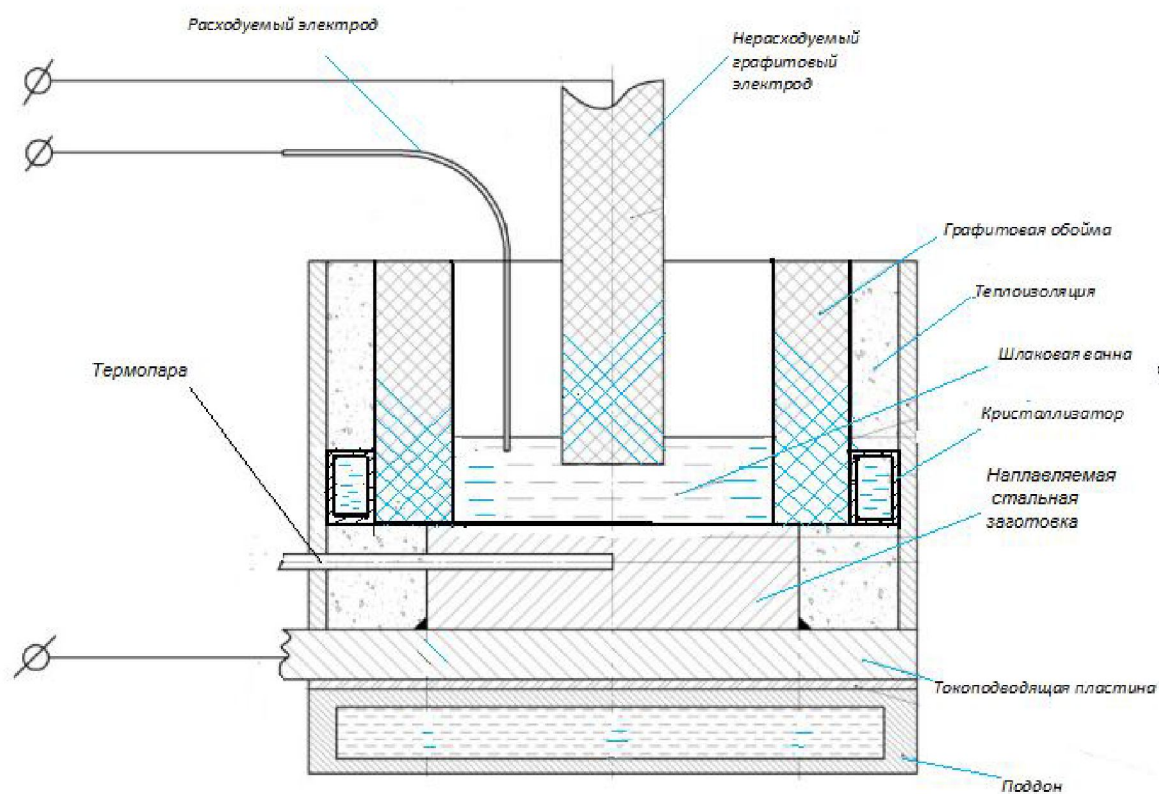


Рисунок 1 Схема установки для наплавки



Рисунок 2 Общий вид наплавочного участка

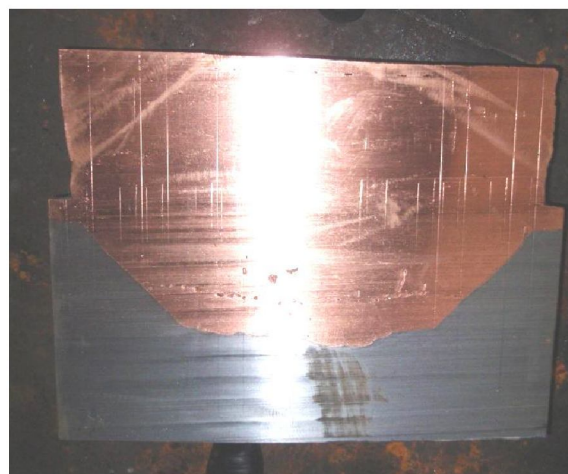


Рисунок 3 Биметаллическая заготовка

Разрывные образцы показали, что разрушение происходит по наплавленному металлу, что свидетельствует о надежности зоны сплавления.

Макроструктура шлифа после травления показана на рисунке 4. Видно, что

граница раздела металлов представляет собой четкую линию без следов размытия. Макродефекты в зоне соединения отсутствуют.

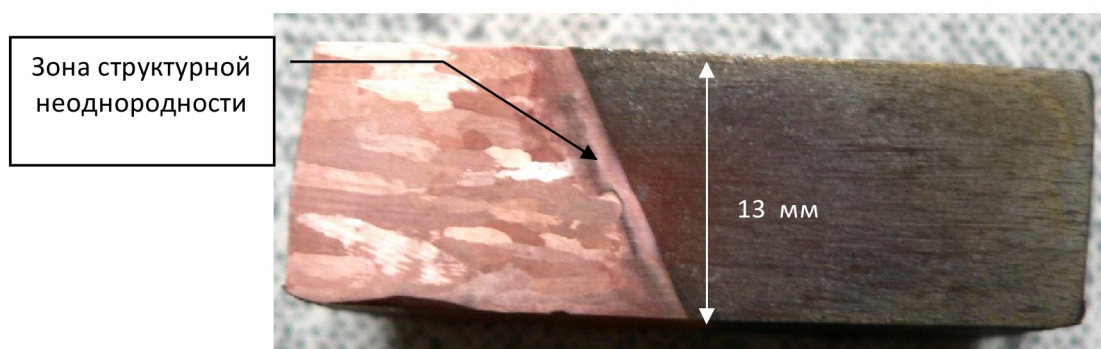
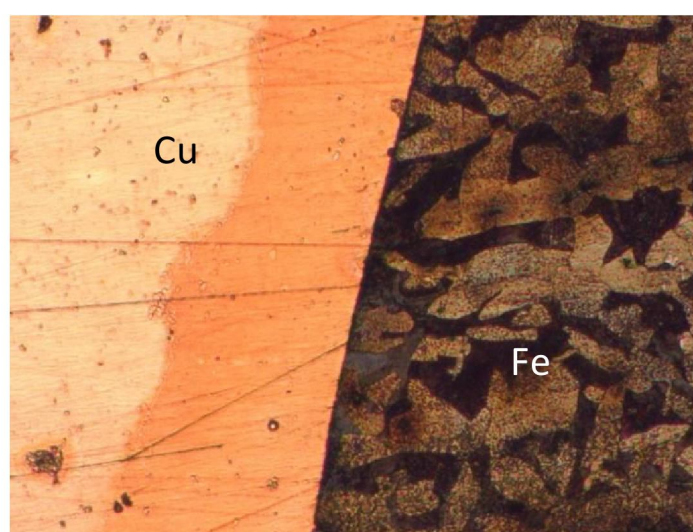


Рисунок 4 Макроструктура исследуемого образца

Рисунок 5 Микроструктура зоны соединения, $\times 100 \times 1/2$

Сталь после травления имеет однородную структуру, что типично для деформированного металла. В меди выявлена структура литого металла с кристаллитами, ориентированными в направлении отвода тепла при кристаллизации. В то же время со стороны меди наблюдается структурная неоднородность вблизи границы соединения материалов. Ширина зоны неоднородности составляет 1,2...3,0 мм.

Структура зоны соединения после травления приведена на рисунке 5.

Анализ наплавленных образцов позволяет сделать вывод о перспективности предлагаемого способа при изготовлении биметаллических изделий с большой тол-

щиной наплавленного слоя, отличающихся переходной зоной шириной 2...4 мм с минимальной химической и структурной неоднородностью.

Данная технология позволяет значительно упростить процесс получения биметаллических заготовок, применять стандартное оборудование для электрошлакового переплава. Таким образом, предложенная технология изготовления биметаллических (сталь-медь) заготовок для подовых электродов является конкурентноспособной, что подтверждается полученным на этот метод патентом [5], и рекомендуется для внедрения в промышленность.

Библиографический список

1. Закамаркин, М. К. Дуговая сталеплавильная печь постоянного тока емкостью 25 т на ОАО «Ижсталь» [Текст] / М. К. Закамаркин, М. М. Липовецкий, В. С. Малиновский // *Сталь*. — 1991. — № 4. — С. 18–20.
2. Liu, X. Melting mechanism of water-cooled billet-type bottom electrode of direct current arc furnace: a numerical approach / X. Liu, J. Zhou, H. Shi et al // *Metallurgical and materials transactions B* — October 2008. — № 39B. — P. 713–724.
3. Зайцев, В. А. Применение ЭШП по двухконтурной схеме для получения сталемедных заготовок анодов дуговых печей постоянного тока [Текст] / В. А. Зайцев, Л. Б. Медовар, П. И. Тищенко, Б. Б. Федоровский, В. М. Журавель // *Современная электрометаллургия*. — 2011. — № 2. — С. 14–16.
4. Григоренко, Г. М. Биметаллические материалы и изделия, изготавливаемые высокотемпературной некапиллярной пайкой [Текст] / Г. М. Григоренко, Л. Г. Пузрин, М. А. Полецук, А. Л. Пузрин // *Современная электрометаллургия*. — 2011. — № 4. — С. 15–19.
- 5 Пат. 104262 Україна, МПК (2013.01) В23К 9/00 В23К 9/23 (2006.01) В23/С 703/22 (2006.01). Спосіб електрошлакового наплавлення міді і її сплавів на сталь / С. Ю. Пасечник, А. Ю. Пасечник, Г. Г. Корицький; заявник і патентовласник Донецький нац. техн. ун-т. — № а 201303105; заявл. 14.03.2013; опубл. 10.10.2013, Бюл. №19. — 6 с.: іл..

© Пасечник С. Ю.

© Пасечник А. Ю.

*Рекомендована к печати д.т.н., проф. каф. ММК ДонГТУ Харламовым Ю. А.,
к.т.н., доц. каф. МСиС ДонНТУ Ухиным В.*

Статья поступила в редакцию 10.01.17.

к.т.н. Пасечник С. Ю., Пасечник А. Ю. (ДонНТУ, м. Донецьк, ДНР)

СПОСІБ ВИГОТОВЛЕННЯ ПОДОВИХ ЕЛЕКТРОДІВ

Запропоновано спосіб електрошлакового наплавлення міді на сталь, що дозволяє проводити наплавку шару великої товщини на заготовки діаметром до 600 мм з мінімальною зоною перемішування, при виготовленні подових електродів дугових сталеплавильних печей. Результат досягається за рахунок регулювання теплової потужності що вводиться.

Ключові слова: подові електроди, електрошлакове наплавлення, зона перемішування.

Ph.D. Pasechnik S. Yu., Pasechnik A. Yu. (DonNTU, Donetsk, DNR)

METHOD OF MANUFACTURING THE ELECTRONIC ELECTRODES

A method for electroslag copper surfacing on steel is proposed, which allows thick layer surfacing on billets up to 600 mm in diameter with a minimal mixing zone at manufacturing the electronic electrodes of arc steel furnaces. The result is achieved by adjusting the input thermal power.

Key words: electronic electrodes, electroslag surfacing, mixing zone.