

РОЛЬ ШЛАКОВОЙ ВАННЫ В ПРОЦЕССЕ НАПЛАВКИ В ТОКОПОДВОДЯЩЕМ КРИСТАЛЛИЗАТОРЕ

Ю. М. Кусков, В. Г. Соловьев, И. П. Лентюгов, В. А. Жданов

Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины.

03150, г. Киев, ул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Выполнены эксперименты в стационарном и подвижном токоподводящем кристаллизаторе по изучению влияния глубины шлаковой ванны и ввода в нее разовых порций рабочего флюса на изменение тока наплавки. Установлено, что увеличение объема шлаковой ванны в стационарном токоподводящем кристаллизаторе не является технологическим приемом повышения ее температуры при неизменной величине напряжения источника питания. Разовая подача рабочего флюса при наплавке в подвижном токоподводящем кристаллизаторе может лишь кратковременно влиять на величину рабочего тока с последующим ее снижением до первоначального значения. Библиогр. 5, табл. 1, ил. 4.

Ключевые слова: стационарный и подвижной токоподводящий кристаллизатор; глубина шлаковой ванны; разовая подача флюса; ток наплавки

Основным источником тепловой энергии, необходимой для плавления электродного металла, а также нагрева наплавляемой поверхности изделий в водоохлаждаемых кристаллизаторах является шлаковая ванна.

В работе [1] подробно рассмотрены тепловой баланс шлаковой ванны при переплаве электрода большого сечения, характер его плавления в шлаке, пути распределения тока в плавильном пространстве и влияние рода тока на происходящие при этом процессы. Особое внимание уделено влиянию глубины шлаковой ванны на токораспределение. Установлено влияние ее и коэффициента заполнения кристаллизатора на соотношение токов, проходящих по стенке кристаллизатора и электроду. При переплаве с большим коэффициентом заполнения кристаллизатора от глубины шлаковой ванны существенно зависит плавление электрода.

Разработанный в ИЭС им. Е. О. Патона секционный водоохлаждаемый токоподводящий кристаллизатор (ТПК), к одной из секций которого подведено напряжение, может использоваться в электрошлаковых технологиях наплавки (ЭШН) и переплава (ЭШП) с подачей в шлаковую ванну материалов различного типа. Это могут быть как электроды и нетокопроводящие заготовки различного сечения, так и присадки в дискретном виде либо в виде расплавленного металла [2–5]. Наиболее перспективно использование при плавлении в шлаковой ванне дискретной присадки.

В этом случае, вследствие отсутствия в шлаке электрода, токораспределение и тепловое состо-

яние шлаковой ванны определяется лишь током, проходящим через нее от токопроводящей секции кристаллизатора.

Поэтому в данной работе поставлена задача установить взаимосвязь между рабочим током электрошлакового процесса (током ТПК) и глубиной шлаковой ванны и тем самым оценить возможность увеличения температуры ванны не только за счет повышения вводимой в нее электрической мощности, но и путем регулирования данного технологического параметра.

Методика выполнения экспериментов состояла из двух этапов. Первоначально в стационарном гладкоствольном ТПК диаметром 180 мм с помощью графитового электрода (твердый старт) наводили шлаковую ванну такого объема, чтобы ее глубина была достаточной для электрического замыкания поддона и токопроводящей секции кристаллизатора. Расстояние L от поддона до токопроводящей секции кристаллизатора составляло 45 мм (рис. 1). В результате прохождения через шлак электрического тока ТПК и активного вращения ванны в горизонтальной плоскости стабилизировали ее тепловое состояние. При этом графитовый электрод извлекали из ванны (рис. 2). Далее путем дополнительной подсыпки флюса доводили уровень шлаковой ванны до верхнего торца графитовой футеровки токопроводящей секции (высота футеровки около 40 мм) (см. рис. 1). Этим достигались одинаковые начальные условия проведения всех запланированных экспериментов, т. е. подачу порций флюса (1 кг) осуществляли с одного уровня наведенной шлаковой ванны. Дальнейшее увели-

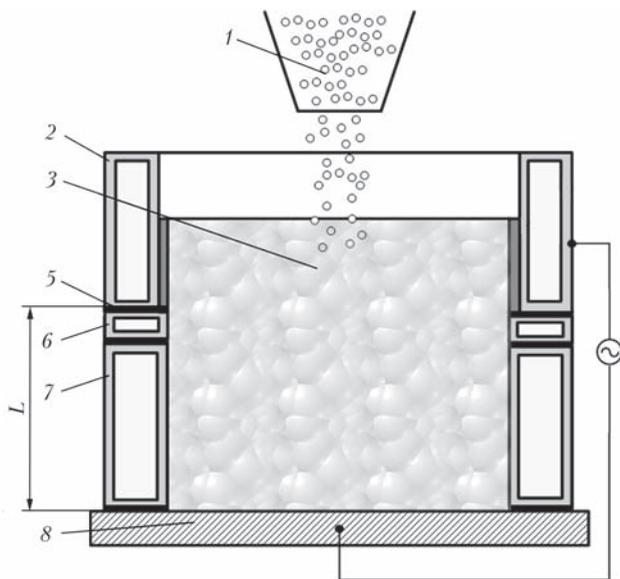


Рис. 1. Схема выполнения эксперимента: 1 — флюс; 2, 6, 7 — токоведущая, промежуточная и формирующая секции кристаллизатора соответственно; 3 — шлаковая ванна; 4 — защитная графитовая футеровка; 5 — изоляционная прокладка; 8 — поддон

чение ее объема и перемещение в ТПК происходило лишь по медной стенке секции. Подачу трех порций флюса АНФ-29 производили постепенно, чтобы сильно не захлаживать ванну. В течение всего процесса измеряли ток кристаллизатора I_k , напряжение источника тока $U_{ист}$, а также производили расчет электропроводности шлаковой ванны $G_{ш}$. Замеры и запись указанных электрических параметров проводили с помощью универсального модуля АЦП Е14-1440, ноутбука Lenovo (модель Ideal Pad 4560 с 64-разрядной операционной системой) и программного обеспечения «Power Graph» (рис. 3).

В экспериментах применяли как постоянный, так и переменный токи с источниками питания ВДМ-5000, ТШС-3000-1 и ТШП-10.

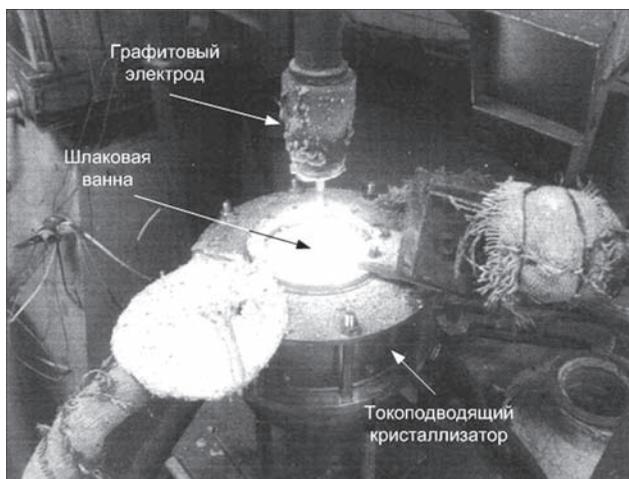


Рис. 2. Завершающий этап расплавления флюса в токоведущем кристаллизаторе диаметром 180 мм с извлеченным из шлаковой ванны графитовым электродом

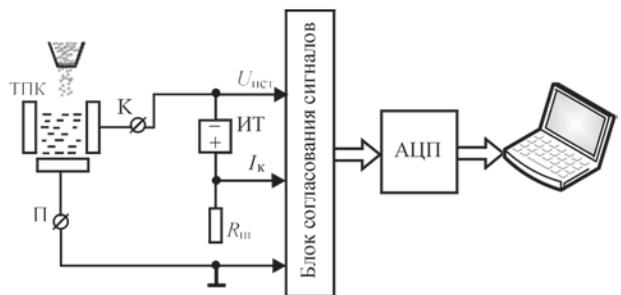


Рис. 3. Структурная схема электрических соединений при проведении экспериментов: ТПК — токоведущий кристаллизатор; К и П — клеммы подсоединения токоведущей секции кристаллизатора и поддона соответственно; ИТ — источник постоянного тока; $R_{ш}$ — измерительный токовый шунт; $U_{ист}$, I_k — сигналы пропорциональные напряжению источника тока и току кристаллизатора соответственно; АЦП — аналого-цифровой преобразователь

Благодаря использованию современной измерительной аппаратуры рассматривали весь процесс формирования шлаковой ванны (рис. 4).

В интервале времени от метки t_1 до t_2 происходит наведение шлаковой ванны, наблюдали рост ее температуры и электропроводности. После достижения уровня шлаковой ванны нижнего края графитового кольца токоведущего кристаллизатора (интервал $t_2 - t_3$) извлекали графитовый электрод из ванны. В это время наблюдали понижение электропроводности за счет замещения объема, занимаемого графитовым электродом, объемом разогретого шлака. В интервале $t_3 - t_4$ до момента засыпки в кристаллизатор первой порции флюса росла электропроводность шлака за счет нагрева ванны током, проходящим через токоведущий кристаллизатор. После засыпки первой порции флюса происходило незначительное охлаждение шлаковой ванны, которое сопровождалось понижением ее электропроводности. Вторую и

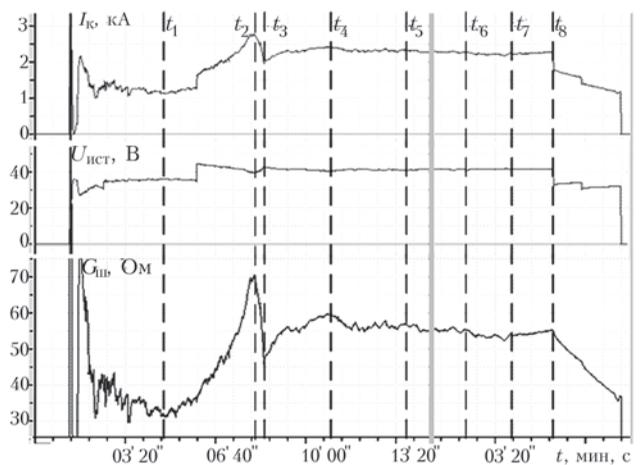


Рис. 4. Диаграмма распределения тока кристаллизатора, напряжения источника и электропроводности шлаковой ванны от момента твердого старта до стабилизации электрошлакового процесса (завершения процесса порционной подачи флюса)

третью порции флюса засыпали в моменты времени t_5 и t_6 соответственно, после расплавления предыдущих порций. От момента времени t_4 до t_7 наблюдалось незначительное общее понижение температуры шлаковой ванны. Очевидно в шлаковую ванну поступало недостаточно электрической энергии для компенсации понижения тепла из-за введения порций флюса. После расплавления всего введенного во время эксперимента флюса, начиная от момента времени t_7 , происходил постепенный разогрев шлаковой ванны до момента t_8 , когда процесс подошел к завершению.

Из оценки диаграммы изменения электропроводимости и рабочего тока в шлаковой ванне от момента твердого старта до стабилизации ЭШП в токоподводящем кристаллизаторе можно сделать следующие выводы:

постепенное извлечение графитового электрода из шлаковой ванны при ее касании токоведущей секции кристаллизатора первоначально приводит к падению величины тока примерно на 20 % (с 2,72 до 2,17 кА). По-видимому, величина той части тока, которая проходит через графитовый электрод, зависит от положения торца электрода в шлаковой ванне. При полном удалении электрода из шлака величина рабочего тока определяется только током кристаллизатора, благодаря чему наблюдается ее повышение до 2,43 кА;

при прохождении уровня шлаковой ванны графитовой футеровки заметного повышения величины тока не происходит (колебания тока не превышают 1 %) несмотря на то, что площадь соприкосновения шлака с поверхностью графитовой футеровки возрастает. Возможно, если бы расстояние L имело меньшее значение (10...15 мм), изменение величины тока было бы более значительным;

порционная подача флюса и превышение уровня шлаковой ванны верхнего края графитовой футеровки при соприкосновении с медной стенкой кристаллизатора также не повлияли на величину рабочего тока.

Исходя из полученных результатов, а также поставленной задачи изготовления длинномерных слитков (наплавленного слоя), когда химический состав шлаковой ванны (и частично ее объем) с течением времени изменяется, провели дополнительные эксперименты (2-й этап исследований) с использованием подвижного ТПК с уширенной верхней секцией диаметром 255/215 мм и флюса АНФ-32.

Уровень металлической ванны поддерживали постоянным благодаря индуктивному датчику уровня, ступень источника питания переменного тока во время наплавки также не изменяли. При этом эпизодически в шлаковую ванну подавали

Влияние дополнительного ввода в шлаковую ванну флюса АНФ-32 на изменение тока наплавки в токоподводящем кристаллизаторе

Период измерения тока, мин	Ток плавки, кА	Ввод флюса в шлаковую ванну, г
0	4,3	180
2	4,5	нет
5	4,4	нет
9	4,3	нет

небольшую порцию флюса примерно 180 г. Влияние дополнительной подачи флюса на изменение тока наплавки представлено в таблице.

Из таблицы следует, что разовая подача в шлаковую ванну свежего флюса сопровождается некоторым кратковременным повышением величины тока на 2...5 % с последующим снижением его до первоначального значения в течение 8...10 мин.

Выводы

1. Повышение температуры шлаковой ванны за счет увеличения ее глубины и роста рабочего тока (без изменения напряжения источника питания) нельзя рекомендовать в качестве технологического приема при выполнении наплавки (переплава) с использованием дискретной присадки в токоподводящем кристаллизаторе.

2. Разовый ввод в шлаковую ванну небольших порций свежего рабочего флюса способствует кратковременному росту тока с последующим снижением в течение 8...10 мин его величины до первоначального значения.

Список литературы

1. Патон Б. Е., Медовар Б. И. (ред.) (1976) *Электрошлаковые печи*. Киев, Наукова думка.
2. Кусков Ю. М. (2006) Ресурсосберегающая технология восстановления и изготовления деталей методом электрошлаковой наплавки. *Технология машиностроения*, **6**, 40–42.
3. Кусков Ю. М., Гордань Г. И., Богайчук И. Л., Кайда Т. В. (2015) Электрошлаковая наплавка дискретным материалом различного способа изготовления. *Автоматическая сварка*, **5–6**, 34–37.
4. Медовар Б. И., Чернец А. В., Медовар Л. Б. и др. (1995) Электрошлаковая наплавка жидким присадочным металлом. *Пробл. спец. электрометаллургии*, **1**, 6–11.
5. Медовар Б. И., Чекотило Л. В., Бойко Г. А. и др. (1971) Использование бестоковых расходных электродов с целью управления формой металлической ванны при ЭШП. *Спец. электрометаллургия*, **10**, 16–22.

References

1. (1976) *Electroslag furnaces*. Ed. by B.E. Paton et al. Kiev, Naukova Dumka [in Russian].
2. Kuskov, Yu.M. (2006) Resource-saving technology of restoration and manufacture of parts by electroslag surfacing method. *Tekhnologiya Mashinostroeniya*, **6**, 40–42 [in Russian].

3. Kuskov, Yu.M., Gordan, G.N., Bogajchuk, I.L. and Kajda, T.V. (2015) Electroslag surfacing using discrete materials of different methods of manufacture. *The Paton Welding J.*, 5–6, 30–36.
4. Medovar, B.I., Chernets A.V., Medovar, L.B. et al. (1995) Electroslag surfacing with liquid filler metal. *Advances in Special Electrometallurgy*, 1, 5–9.
5. Medovar, L.B., Chekotilo, L.V., Bojko, G.A. et al. (1971) Use of current-free consumable electrodes for control of metal pool shape in ESR. *Spets. Elektrometallurgiya*, 10, 16–22 [in Russian].

РОЛЬ ШЛАКОВОЇ ВАННИ В ПРОЦЕСІ НАПЛАВЛЕННЯ В СТРУМОПІВДІДНОМУ КРИСТАЛІЗАТОРІ

Ю. М. Кусков, В. Г. Соловійов, І. П. Лентюгов, В. О. Жданов

Інститут електрозварювання ім. С. О. Патона НАН України.

03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Виконано експерименти в стаціонарному і рухливому струмопідвідному кристалізаторі по вивченню впливу глибини шлакової ванни і введення в неї разових порцій робочого флюсу на зміну струму наплавлення. Встановлено, що збільшення об'єму шлакової ванни в стаціонарному струмопідвідному кристалізаторі не може бути технологічним прийомом підвищення її температури при незмінній величині напруги джерела живлення. Разове подання робочого флюсу при наплавленні в рухливому струмопідвідному кристалізаторі може лише короткочасно впливати на величину робочого струму з подальшим її зниженням до первинного значення. Бібліо-гр. 5, табл. 1, іл. 4.

Ключові слова: стаціонарний і рухливий струмопідвідний кристалізатор; глибина шлакової ванни; разова подача флюсу; ток наплавлення

ROLE OF SLAG POOL IN PROCESS OF SURFACING IN CURRENT-CARRYING MOULD

Yu. M. Kuskov, V. G. Solovjev, I. P. Lentjugov, V. A. Zhdanov

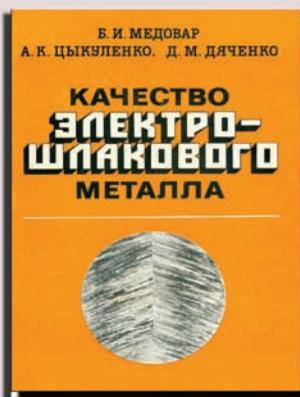
E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine.

11 Kazimir Malevich Str., 03150, Kyiv, Ukraine. E-mail: office@paton.kiev.ua

Experiments in stationary and mobile current-carrying mould were made for study the effect of slag pool depth and adding of single portions of working flux into it on the surfacing current change. It was established that the increase in volume of slag pool in the stationary current-carrying mould is not a technological procedure of increasing its temperature at the power source unchanged voltage value. A single adding of working flux in surfacing in a mobile mould can only effect for a short time on value of operating current with subsequent its decrease to the initial value. Ref. 5, Tabl. 1, Fig. 4.

Key words: stationary and mobile current-carrying mould;; depth of slag pool; single flux adding; surfacing current

Поступила 02.03.2018



КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРОШЛАКОВОГО МЕТАЛЛА / Медовар Б. И., Цыкуленко А. К., Дяченко Д. М.; Под ред. Патона Б. Е., Медовара Б. И.; АН УССР. Ин-т электросварки им. Е. О. Патона. — Киев: Наук. думка, 1990. — 312 с. — ISBN 5-12-001659-6.

В монографии обобщены данные исследований металлургического качества и физико-механических свойств электрошлакового металла, получаемого современными способами электрошлаковой технологии. Дана краткая характеристика новых разновидностей этих способов. Освещены особенности кристаллизации электрошлакового металла и значение структурного фактора в повышении его качества. Рассмотрены технологические и механические свойства электрошлаковых сталей практически всех существующих классов. Приведены новые данные по качеству крупнотоннажных заготовок, изготавливаемых способами электрошлаковой технологии.

Для научных и инженерно-технических работников, занятых в области металлургии и машиностроения; может быть полезна преподавателям, аспирантам и студентам вузов.