

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕТОКОВЕДУЩИХ РАСХОДУЕМЫХ ЗАГОТОВОК ПРИ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ НАПЛАВКЕ В ТОКОПОДВОДЯЩЕМ КРИСТАЛЛИЗАТОРЕ

Ю. М. КУСКОВ, В. Г. СОЛОВЬЕВ, П. П. ОСЕЧКОВ, В. А. ЖДАНОВ

ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины. 03150, г. Киев, ул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

При торцевой электрошлаковой наплавке с использованием нетоковедущих заготовок исследовано влияние удаления наплавляемой поверхности от токоведущей секции токоподводящего кристаллизатора на проплавление основного металла, производительность наплавки и удельный расход электроэнергии. Проведено сравнение влияния на качество биметалла, полученного при электрошлаковой наплавке электродами и нетоковедущими заготовками одного и того же сечения. Установлено, что при введении в шлаковую ванну через токоведущую секцию токоподводящего кристаллизатора оптимальной электрической мощности и использовании плавящихся заготовок, можно достичь заданного проплавления основного металла, хорошего формирования наплавленного слоя и производительности процесса, соизмеримых с теми, что получают при наплавке электродом того же сечения, только в случае оптимального удаления расплавляемого торца плавящейся заготовки от наплавляемой поверхности изделия. Библиогр. 13, табл. 1, рис. 2.

*Ключевые слова:* торцевая электрошлаковая наплавка, нетоковедущая расходная заготовка большого сечения, токоподводящий кристаллизатор, источники питания, наплавляемая поверхность, проплавление основного металла, качество наплавки

К важнейшим показателям электрошлаковой наплавки (ЭШН), помимо проплавления, относятся качество металла наплавляемого слоя и его формирования и, конечно, одно из главных преимуществ электрошлакового процесса – повышенная производительность наплавки по сравнению с другими способами получения биметалла методами сварки.

Для получения качественных биметаллических изделий предложено большое количество способов и технических решений выполнения ЭШН [1]. Одним из простых, но в то же время действенных способов является использование в электрошлаковом процессе, помимо расходных электродов, нетоковедущей присадки, чаще всего в виде проволоки. Эта техника введения в шлаковую ванну двух плавящихся сварочных материалов нашла наибольшее применение при электрошлаковой сварке (ЭШС). При этом в качестве электродов используются пластины или электродные проволоки [2–5], а присадка дополнительно подается в виде цельнотянутой или порошковой проволоки, лент [6–8].

В результате использования дополнительной присадки улучшаются форма и размеры металлической ванны, микро- и макроструктура наплавляемого металла, а также его механические свойства; повышается производительность процесса сварки, снижается расход электроэнергии. Однако, как отмечается в работе [5], дополнительное введение в шлаковую ванну холодной присадки не может существенно изменить количество тепла,

поступаемое в основной металл из металлической ванны. Это связано с тем, что теплосодержание металлической ванны определяется, в основном, температурой поступающих в нее капель с оплавленного торца электрода. Поэтому в практике ЭШН, в отличие от ЭШС, получило развитие другое направление повышения всех показателей наплавки. Это одновременное применение при ЭШН как расходных электродов большого сечения, так и нерасходных электродов [9–11]. Но в этом случае, хотя электрическую мощность, подаваемую на расходные электроды, можно понизить, тем не менее, влияние перегретых капель электродного металла на температуру металлической ванны, соответственно, на нагрев наплавляемой поверхности изделия сохраняется.

В работе была поставлена задача достижения минимального и равномерного проплавления основного металла при хорошем формировании наплавляемого металла путем изменения различных технологических показателей (как электрических, так и геометрических) ЭШН с нерасходным электродом кольцевого типа, т.е. токоподводящим кристаллизатором (ТПК), с использованием нетоковедущих расходных заготовок большого сечения вместо электродов такого же размера. Представляет интерес сравнить результаты, полученные при ЭШН в ТПК на переменном и постоянном токах с использованием электродов большого сечения, при различных электрических схемах подключения [12, 13], с результатами на-

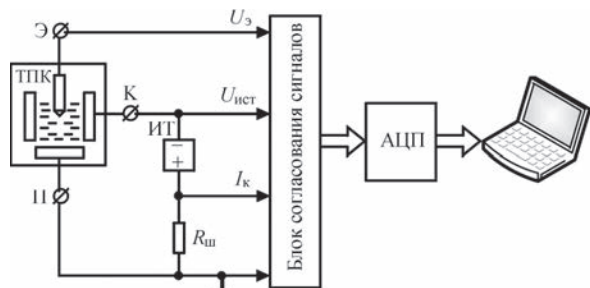


Рис. 1. Структурная схема электрических соединений при выполнении экспериментов по наплавке (Э, К и П — клеммы подсоединения электрода, токоведущей секции кристаллизатора и поддона с изделием, соответственно; ИТ — источник постоянного тока;  $R_{ш}$  — измерительный токовый шунт;  $U_{ист}$ ,  $U_3$ ,  $I_k$  — сигналы, пропорциональные напряжению источника тока, наведенному напряжению на электроде и току кристаллизатора (поддона), соответственно; АЦП — аналого-цифровой преобразователь)

плавки в ТПК того же размера при плавлении нетоковедущих расходуемых заготовок. Методика выполнения экспериментов аналогична той, что представлена в работе [13].

На рис. 1 представлена схема электрических соединений при выполнении экспериментов по наплавке. Проведено пять экспериментов на постоянном токе (33М, 35М, 36М, 37М и 39М) и один эксперимент на переменном токе (6М). В некоторых экспериментах изменяли положение наплавляемой поверхности изделия относительно нижней кромки токоведущей секции кристаллизатора, а именно это удаление  $h$  составляло 110, 70 и 44 мм. Эксперименты проводились с нетоковедущими расходуемыми заготовками двух диаметров 90 и 115 мм. Из всех наплавленных образцов изготовлены продольные макрошлифы для оценки глубины проплавления и его равномерности по зоне сплавления.

В таблице приведены показатели режимов ЭШН и оценка качества биметаллических об-

разцов, полученных при выполнении данных экспериментов.

Анализ результатов, приведенных в таблице, показывает, что показатели качества наплавки для экспериментов, при которых удаление наплавляемой поверхности от токоведущей секции было большое, а именно 110 и 70 мм (эксперименты 6М, 33М и 35М), были лучше, чем для экспериментов 36М, 37М и 39М, у которых  $h = 44$  мм. Предположительно это связано с тем, что в первом случае объем шлаковой ванны и ее теплоемкость были больше, и это позволяло обеспечить быстрый нагрев торца нетоковедущей заготовки до температуры плавления при относительно малом значении тока на токоведущей секции кристаллизатора и не перегреть изделие по периферии возле стенок формирующей секции. Кроме того, при большой глубине шлаковой ванны имеются более высокие возможности выбора положения в шлаке торца плавящейся заготовки. При малом значении  $h$  практически сложно «удержать» торец плавящейся заготовки на необходимом расстоянии от наплавляемой поверхности, а повышенный ток на токоведущей секции кристаллизатора увеличивает прианодное падение напряжения на изделии и приводит к глубокому проплавлению его периферийной зоны.

Отсюда следует, что при технологической схеме наплавки с нетоковедущей заготовкой, у которой возможности управления процессом наплавки значительно меньше, чем при схеме с плавящимся электродом, нецелесообразно располагать наплавляемую поверхность на небольшом удалении от токоведущей секции кристаллизатора.

На рис. 2, а изображена гистограмма минимальных значений удельных расходов электроэнергии и минимальных значений средней глубины проплавления (рис. 2, б), полученных при выполнении экспериментов ЭШН в ТПК на переменном

Показатели режимов ЭШН и оценка качества биметаллических образцов, полученных в ТПК

Номер эксперимента	Диаметр заготовки, мм	Ток, кА	Напряжение, В	Мощность, кВт	$V_3$ , мм/мин	$G$ , кг/ч	$h$ , м	$Q$ , кВт·ч/кг	Качество наплавки		
									$H_{ср}$ , мм	$\Delta_{ср}$ , мм	КНП
33М	90	1,81	31,3	56,7	2,14	6,4	110	8,9	1,6	1,2	Удовлетворительное
35М	90	1,65	46,1	76,1	2,0	6,0	110	12,8	1,8	1,3	->-
36М	90	2,59	36,5	94,5	0,5	1,6	44	60,3	8,4	7,2	->-
37М	90	2,57	35,3	90,7	0,42	1,2	44	73,1	8,1	7,2	->-
39М	90	2,52	35,6	89,7	3,8	14,9	44	8,0	7,6	7,0	Хорошее
6М*	115	2,2	36,0	79,2	6,0	16,5	70	4,8	1,5	1,0	->-

Примечание. \* — наплавка проводилась на переменном токе;  $V_3$  — средняя скорость движения заготовки;  $G$  — производительность наплавки;  $h$  — расстояние от наплавляемой поверхности до токоведущей секции;  $Q$  — удельный расход электроэнергии;  $H_{ср}$  — средняя глубина проплавления;  $\Delta_{ср}$  — средняя неравномерность проплавления; КНП — качество формирования наплавляемой поверхности (экспертная оценка).

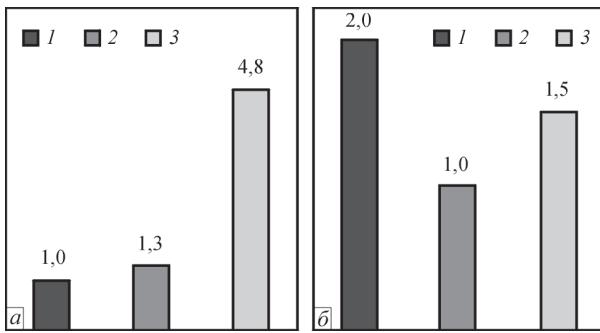


Рис. 2. Гистограмма сопоставления минимальных значений удельных расходов электроэнергии, кВт·ч/кг (а) и минимальных значений средней глубины проплавления, мм (б), полученных при выполнении экспериментов по наплавке в ТПК (1 — переменный ток, для а —  $D_3 = 130$  мм; б — 90; 2 — постоянный ток  $D_3 = 90$  мм; 3 — нетоковедущая заготовка,  $D_3 = 115$  мм)

[12] и постоянном [13] токах, а также при использовании нетоковедущей заготовки. Показатели качества биметалла образцов 33М, 35М и 6М дают основание утверждать, что процесс наплавки по схеме с нетоковедущей заготовкой может конкурировать с ЭШН плавящимся электродом как на переменном, так и на постоянном токах (рис. 2, б). Однако в любом случае необходимо учитывать расположение в шлаковой ванне торца плавящейся заготовки относительно наплавляемой поверхности, так как этот параметр оказывает большое влияние на показатели  $H_{cp}$  и  $\Delta_{cp}$ . Этот факт подтверждается результатами экспериментальных ЭШН (эксперименты 36М, 37М и 39М) (см. таблицу). Все три образца получены в результате расплавления заготовок диаметром 90 мм при практически одинаковых токах и напряжениях и на одинаковом удалении наплавляемой поверхности от токоведущей секции ТПК (44 мм), но при этом удельные расходы электроэнергии значительно отличаются. Это объясняется неконтролируемым изменением положения в шлаке торца плавящейся заготовки относительно наплавляемой поверхности. Определенное влияние на результаты оказало частое извлечение заготовки из шлаковой ванны (для оценки положения торца заготовки в шлаке), что способствовало снижению значений средней скорости движения заготовки.

Также очевидно, что ЭШН с использованием нетоковедущих расходоуемых заготовок не может конкурировать с ЭШН плавящимся электродом по производительности наплавки и удельному расходу электроэнергии. Скорость плавления электрода в ТПК априори выше, чем нетоковедущей заготовки, и соответственно, выше производительность ЭШН. В свою очередь, нагрев нетоковедущей заготовки до температуры плавления через нагрев шлаковой ванны при прохождении через нее только тока кристаллизатора (в отличие от ЭШН плавящимся электродом), приводит к уменьшению концентрации подводимой мощности вблизи заготовки, что повы-

шает удельный расход электроэнергии при ЭШН нетоковедущей заготовкой (рис. 2, а).

Данные, полученные по эксперименту 6М показывают, что при достаточной мощности, подводимой к ТПК, и оптимальном расположении торца нетоковедущей расходоуемой заготовки относительно наплавляемой поверхности, можно достичь хороших показателей проплавления основного металла при высокой энергоэффективности процесса наплавки.

По-видимому, наплавку нетоковедущей расходоуемой заготовкой целесообразно применять в тех случаях, когда, несмотря на повышенный расход электроэнергии, получение минимального проплавления является обязательным условием соединения металлов с резко отличающимися свойствами и однозначно образующими в зоне сплавления хрупкие структуры даже при незначительном их перемещении. Такая технология позволяет с большей гарантией получить минимальное проплавление, чем при наплавке электродом большого сечения по схеме с одинаковыми потенциалами на электроде и токоведущей секции ТПК [11].

В заключение следует отметить, что при ЭШН нетоковедущими расходоуемыми заготовками качественные биметаллические соединения можно получать при относительно небольших удалениях наплавляемой поверхности от токоведущей секции ТПК, определяемых режимами наплавки и химическим составом применяемого флюса. При этом необходимо учитывать расположение в шлаковой ванне ее торца относительно наплавляемой поверхности, так как этот параметр оказывает большое влияние на показатели проплавления основного металла.

### Список литературы

1. Артамонов В. Л., Сушук–Слюсаренко И. И. (1988) Электрошлаковая наплавка. *Автоматическая сварка*, **11**, 41–46.
2. Бенуа Ф. Ф., Катлер А. И. (1960) Технично-экономические показатели плавления при автоматической шлаковой сварке пластинчатым электродом. *Там же*, **10**, 19–22.
3. Якушин Б. Ф., Башев Л. Ф. (1982) Исследование процесса электрошлаковой сварки с применением присадочно-го металла. *Известия вузов*, **7**, 97.
4. Якушин Б. Ф., Башев Л. Ф., Тихонов В. П. и др. (1989) Повышение технологической прочности сварного соединения при электрошлаковой сварке. *Автоматическая сварка*, **10**, 51.
5. Сушук–Слюсаренко И. И., Шабалин Н. Н., Андрианов Г. Г., Лычко И. И. (1974) Некоторые приемы повышения производительности электрошлаковой сварки. *Там же*, **2**, 46–48.
6. Гулида В. П., Семенов В. М., Яковлева Л. И. и др. (1987) Электрошлаковая сварка с дополнительной присадочной проволокой деталей из стали 09Г2С толщиной 60...140 мм. *Сварочное производство*, **2**, 15–18.
7. Буркацкий А. А., Дуркин В. Е., Сушук–Слюсаренко И. И. (1984) Электрошлаковая сварка с дополнительной подачей порошковой проволоки. *Автоматическая сварка*, **6**, 67.

8. Медовар Б. И., Саенко В. Я., Нагаевский И. Д. и др. (1984) *Электрошлаковая технология в машиностроение*. Киев, Техника.
9. Пономаренко В. П., Стойко В. П., Валиц К. А., Пасечник С. Ю. (1988) Электрошлаковая наплавка с применением плавящихся и неплавящихся электродов. *Теоретические и технологические основы наплавки. Наплавка в металлургической и горнорудной промышленности*. Киев, ИЭС им. Е. О. Патона, сс. 30–32.
10. Эрмантраут М. М., Малимонов В. И. (1978) Применение неплавящегося электрода при электрошлаковой наплавке. *Сварочное производство*, **7**, 16–18.
11. Кусков Ю. М., Соловьев В. Г., Жданов В. А. (2017) Торцевая электрошлаковая наплавка электродом большого сечения в токоподводящем кристаллизаторе. *Автоматическая сварка*, **2**, 40–45.
12. Кусков Ю. М., Соловьев В. Г., Осечков П. П., Осин В. В. (2018) Электрошлаковая наплавка торцов заготовок с использованием расходного и нерасходного электродов. *Там же*, **2**, 48–51.
13. Кусков Ю. М., Соловьев В. Г., Осечков П. П., Осин В. В. (2018) Электрошлаковая наплавка электродом большого сечения на постоянном токе в токоподводящем кристаллизаторе. *Там же*, **3**, 38–42.

## References

1. Artamonov, V.L., Sushchuk-Slyusarenko, I.I. (1988) Electroslag surfacing. *Avtomatich. Svarka*, **11**, 41-46 [in Russian].
2. Benua, F.F., Katler, A.I. (1960) Technical-economic indexes of melting in automatic slag welding with plate electrode. *Ibid.*, **10**, 19-22 [in Russian].
3. Yakushin, B.F., Bashev, L.F. (1982) Study of the electroslag welding with filler metal. *Izv. Vuzov*, **7**, 97 [in Russian].
4. Yakushin, B.F., Bashev, L.F., Tikhonov, V.P. et al. (1989) Improvement of technological strength of welded joint in electroslag welding. *Avtomatich. Svarka*, **10**, 51 [in Russian].
5. Sushchuk-Slyusarenko, I.I., Shabalin, N.N., Andrianov, G.G. et al. (1974) Some means for improvement of electroslag welding efficiency. *Ibid.*, **2**, 46-48 [in Russian].
6. Gulida, V.P., Semenov, V.M., Yakovleva, L.I. et al. (1987) Electroslag welding with additional filler wire of parts from 09G2S steel of 60-140 mm thickness. *Svarochn. Proizvodstvo*, **2**, 15-18 [in Russian].
7. Burkatsky, A.A., Durkin, V.E., Sushchuk-Slyusarenko, I.I. (1984) Electroslag welding with additional flux-cored wire feed. *Avtomatich. Svarka*, **6**, 67 [in Russian].
8. Medovar, B.I., Saenko, V.Ya., Nagaevsky, I.D. et al. (1984) *Electroslag technology in mechanical engineering*. Kiev, Tekhnika [in Russian].
9. Ponomarenko, V.P., Stojko, V.P., Valits, K.A. et al. (1988) Electroslag surfacing using consumable and nonconsumable electrodes. *Theoretical and technological principles of surfacing. Surfacing in metallurgical and mining industries*. Kiev, PWI, 30-32 [in Russian].
10. Ermantraut, M.M., Malimonov, V.I. (1968) Application of nonconsumable electrode in electroslag surfacing. *Svarochn. Proizvodstvo*, **2**, 15-18 [in Russian].
11. Kuskov, Yu.M., Soloviov, V.G., Zhdanov, V.A. (2017) Electroslag surfacing of end faces with large-section electrode in current-supplying mould. *The Paton Welding J.*, **12**, 29-32.
12. Kuskov, Yu.M., Soloviov, V.G., Osechkov, P.P. et al. (2018) Electroslag surfacing of billet end faces with application of consumable and nonconsumable electrodes. *Ibid.*, **2**, 38-41.
13. Kuskov, Yu.M., Soloviov, V.G., Osechkov, P.P. et al. (2018) Electroslag surfacing with large-section electrode at direct current in current-supplying mould. *Ibid.*, **3**, 38-42.

Ю. М. Кусков, В. Г. Соловйов,  
П. П. Осечков, В. О. Жданов

ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України.  
03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11.  
E-mail: office@paton.kiev.ua

## ВИКОРИСТАННЯ НЕСТРУМОВЕДУЧИХ ВИТРАТНИХ ЗАГОТОВОК ПРИ ЕЛЕКТРОШЛАКОВОМУ НАПЛАВЛЕННІ В СТРУМОПІДВІДНОМУ КРИСТАЛІЗАТОРІ

При торцевому електрошлаковому напавленні з використанням неструмоведаччих заготовок досліджено вплив видалення напавлюючої поверхні від струмоведаччих секцій струмопідвідного кристалізатора на пропавлення основного металу, продуктивність напавлення і питому витрату електроенергії. Проведено порівняння впливу на якість біметалу, отриманого при електрошлаковому напавленні електродами і неструмоведаччими заготовками одного і того ж перерізу. Встановлено, що при введенні в шлакову ванну через струмопровідну секцію струмопідвідного кристалізатора оптимальної електричної потужності і використанні плавких заготовок, можна досягти заданого пропавлення основного металу, гарного формування напавленого шару і продуктивності процесу, порівняних з тими, що виходять при напавленні електродом того ж перерізу, тільки в разі оптимального видалення розплавлюючого торця плавлячої заготовки від напавлюючої поверхні виробу. Бібліогр. 13, табл. 1, рис. 2.

*Ключові слова:* торцеве електрошлакове напавлення, неструмоведача витратна заготовка великого перерізу, струмопідвідний кристалізатор, джерела живлення, напавляюча поверхня, пропавлення основного металу, якість напавлення

Yu.M. Kuskov, V.G. Soloviov, P.P. Osechkov, V.A. Zhdanov  
E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine.  
11 Kazimir Malevich Str., 03150, Kyiv.  
E-mail: office@paton.kiev.ua

## APPLICATION OF NON-CONDUCTING CONSUMABLE BILLETS AT ELECTROSLAG SURFACING IN CURRENT-SUPPLYING MOULD

The effect of increasing the distance from the processed surface to the current-supplying mould on base metal penetration, deposition rate and specific power consumption was studied at electroslag surfacing of end faces with application of non-conducting billets. Comparison of this effect on the quality of bimetal produced in electroslag surfacing with electrodes and non-conducting billets of the same cross-section was performed. It is found that application of optimal electric power to the slag pool through current-conducting section of current-supplying mould and of consumable billets allows achieving the set penetration of base metal, good formation of the deposited layer and process efficiency, commensurate with those obtained at surfacing with electrode of the same cross-section, only in the case of optimum distance from the melted end face of the consumable billet to the processed surface of the item. 13 Ref., 1 Tabl., 2 Fig.

*Keywords:* electroslag surfacing of end faces, non-conducting large-section consumable billet, current-supplying mould, power sources, processed surface, base metal penetration, surfacing quality

Поступила в редакцію 15.11.2017