

ФОРМИРОВАНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ВАННЫ ПРИ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОМ ПРОЦЕССЕ В ТОКОПРОВОДИТЕЛЕ КРИСТАЛЛИЗАТОРЕ

Ю.М. Кусков, Т.И. Грищенко

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

Представлены результаты экспериментов по изучению влияния различных технологических параметров на формирование металлической ванны при электрошлаковой наплавке дискретной присадкой либо электродом или бестоковой заготовкой большого сечения в токоподводящем кристаллизаторе. Установлено, что на форму металлической ванны можно влиять путем изменения электрического режима процесса, электрической схемы подключения токоподводящего кристаллизатора с использованием постоянного и переменного тока. Показаны пути получения благоприятной формы металлической ванны при повышенной производительности электрошлакового процесса. Библиогр. 8, табл. 2, рис. 2.

Ключевые слова: кольцевая и торцевая электрошлаковая наплавка, токоподводящий кристаллизатор, металлическая ванна.

Объем и форма металлической ванны являются одними из определяющих факторов качества металла как слитков, так и наплавленных слоев, получаемых при электрошлаковом плавлении расходоуемых электродов в обычном водоохлаждаемом кристаллизаторе [1–3]. При электрошлаковой наплавке (ЭШН) от формы металлической ванны еще зависят глубина и равномерность проплавления основного металла. Чем она имеет более плоский вид, тем вероятность получения качественного соединения металлов в ряде случаев существенно возрастает.

Эти же факторы важны и для металла, кристаллизующегося в токоподводящем кристаллизаторе (ТПК). Несмотря на конструктивные отличия ТПК от обычного кристаллизатора [4–7] и, соответственно, иные условия распределения электрического тока в шлаковой ванне (независимо от вида переплавляемого металла), кристаллизация металла в формирующей секции ТПК подчиняется тем же закономерностям [8].

Целью данной работы является оценка влияния техники и технологии электрошлаковой наплавки в ТПК на формирование ванны расплавляемого металла металлической ванны. В исследованиях рассматривали следующие техники и технологии: наплавка электродами или бестоковыми заготовками большого сечения либо дискретной присадкой, выполнение торцевой или кольцевой наплавки, применение различных электрических схем подключения ТПК, использование одного либо двух источников питания переменного или постоянного тока.

При торцевой наплавке использовали ТПК диаметром 180 мм и стальные электроды или бестоковые заготовки из стали 40X диаметром 40...130 мм, а также стружку низколегированной

стали после фрезерной обработки. Кольцевую ЭШН деталей диаметром 100 и 150 мм выполняли дробью нелегированного и хромистого чугуна диаметром 2...3 мм в ТПК диаметром 200 и 250 мм, соответственно. Источниками питания служили трансформаторы ТШП-10 и ТШС -3000-1, а также выпрямители ВДМ-5000 и ВДУ-1202. Электрические схемы подключения ТПК при электрошлаковом процессе с использованием дискретной присадки и электродов (заготовок) представлены в табл. 1.

Электрический режим наплавки выбирался с учетом получения стабильного электрошлакового процесса.

Электрошлаковый процесс начинали при «твердом» (с помощью водоохлаждаемого электрода с графитовой насадкой) или «жидком» (флюс плавился в графитовом тигле) старте. Рабочими флюсами были АН-75, АНФ-29, АНФ-32.

Форму дна металлической ванны фиксировали путем ввода в расплавленный металл подаваемых на поверхность шлаковой ванны порций крупки твердого сплава или дробы хромистого чугуна мелкой фракции при наплавке слоев стали.

В ряде случаев форму дна устанавливали путем специального травления наплавленного металла с целью определения направления роста кристаллов и соответствующего ему расположения поверхности жидкой фазы.

Макрошлифы образцов, полученных при торцевой и кольцевой электрошлаковых наплавках дискретной присадкой и электродом большого сечения показаны на рис. 1.

Как видно из рис. 1, при торцевой ЭШН форма металлической ванны, получаемая за счет металла расплавленной присадки, имеет специфическую форму типа «сомбреро» с возвышением по центру

Таблица 1. Электрические схемы подключения ТПК при электрошлаковом процессе с использованием дискретной присадки и электродов (заготовок) большого сечения

Обозначение схемы	Электрическая схема подключения ТПК
I, Ia	
II	
III	
IV	
V	
VI	
VII	
VIII	
IX	
X	

наплавляемого слоя и впадинами по его краям. Такая форма определяется конструкцией ТПК и, соответственно, особым распределением электрического тока в шлаковой и металлической ваннах (рис. 2). Снижение разницы высот возвышенной и пониженной частей слоя можно достичь за счет применения специальных технологических приемов.

В случае использования при торцевой ЭШН расходомерных электродов (заготовок) форму ванны также можно корректировать, о чем будет сказано ниже.

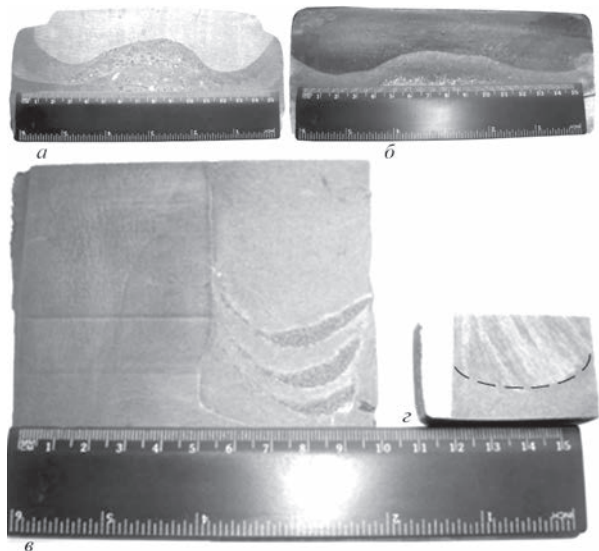


Рис. 1. Продольные макрошлифы из образцов, наплавленных по различным технологиям: торцевая наплавка стружкой низколегирующей стали по электрической схеме I (а) и электродом большого сечения по электрической схеме III, $\Phi_{эл} = 90$ мм (б); кольцевая наплавка дробью нелегированного (в) и хромистого чугуна (г) по электрической схеме Ia

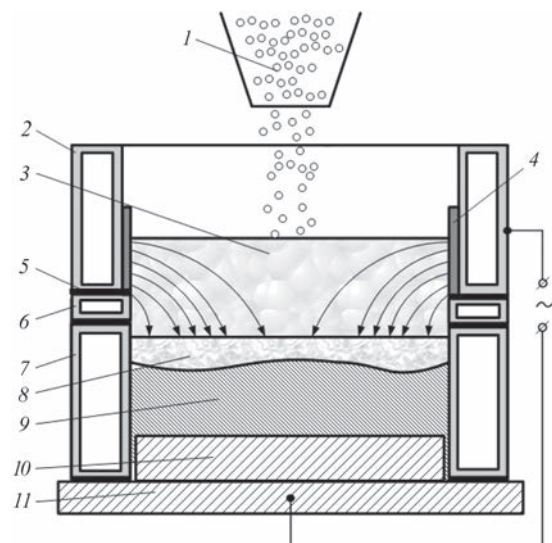


Рис. 2. Схема распределения линий электрического тока в шлаковой и металлической ваннах при торцевой ЭШН в ТПК: 1 — дискретная присадка; 2, 6, 7 — токоведущая, промежуточная и формирующая секции кристаллизатора соответственно; 3 — шлаковая ванна; 4 — защитная футеровка; 5 — изоляционная прокладка; 8 — металлическая ванна; 9 — наплавленный металл; 10 — изделие; 11 — поддон

При кольцевой ЭШН с дискретной присадкой форма металлической ванны аналогична форме, получаемой при наплавке электродом большого сечения (например, трубчатым электродом) и может изменяться как за счет электрического режима наплавки, так и массовой скорости подачи в шлаковую ванну присадки.

Влияние на форму металлической ванны при торцевой ЭШН вида применяемого тока, электрической схемы подключения ТПК и диаметра расходомерного электрода (заготовки) приведено в табл. 2.

Таблица 2. Форма дна металлической ванны при различных условиях выполнения торцевой ЭШН электродом (заготовкой) большого сечения

Номер эксперимента	Род тока	Вид переплавляемого металла (электрод/заготовка)	Диаметр электрода/заготовки, мм	Обозначение электрической схемы	Параметры ЭШН		Форма дна металлической ванны
					Ток на ТПК, кА	Производительность, кг/ч	
8М	Переменный	Электрод	90	II	1,5...2,5	9	
9М	«-»	«-»	130	II	1,5...3,5	17	
14М	«-»	«-»	40	III	1,4...2,2	39	
16М	«-»	«-»	90	III	1,6...3,1	39	
18М	«-»	«-»	90	Обычный ЭШП	2,1...2,8	51	
21М	«-»	«-»	130	III	3,0...3,3	136	
22М	«-»	«-»	90	III	2,4...3,0	50	
23М	«-»	«-»	40	III	1,9...2,6	34	
24М	«-»	«-»	90	IV	1,9...2,0	7	
25М	«-»	«-»	90	V	1,9...3,7	42	
26М	«-»	«-»	90	VI	1,0...2,2	27	
29М	«-»	«-»	40	VII	1,8...2,6	24	
30М	«-»	«-»	130	VI	2,0...3,3	70	
39М	Постоянный	Заготовка	90	VII	2,6...2,8	20	
44М	«-»	Электрод	90	VIII	1,0...1,6	39	
46М	«-»	«-»	90	IX	1,6...2,5	21	
47М	«-»	«-»	90	X	1,0...1,1	69	

Для сравнения представлена форма ванны, получаемая путем переплава (ЭШП) электрода в той же формирующей секции ТПК диаметром 180 мм, при отключении его токоведущей секции от источника питания, т. е. превращения ТПК в обычный кристаллизатор (номер эксперимента 18 М).

По результатам экспериментов, представленных в табл. 2, можно сделать следующие выводы:

- наиболее плоскую форму металлической ванны можно получить при использовании одного источника питания постоянного тока;
- применение двух источников постоянного тока усложняет технологию наплавки, не-

сколько ухудшает форму ванны, но позволяет в 1,5...2,0 раза повысить производительность процесса при относительно небольшом токе, подаваемом на токоведущую секцию кристаллизатора;

- расплавление в шлаковой ванне, нагреваемой за счет протекания в ней электрического тока, бестоковой заготовки позволяет получить плоскую форму металлической ванны, но такой технологии присуща низкая производительность электрошлакового процесса;

- на переменном токе, как наиболее применяемом при электрошлаковых процессах, можно обеспечить получение формы ванны, сравнимой с

формой, достигаемой при электрошлаковом процессе на постоянном токе;

– при схеме подключения ТПК к одному источнику питания переменного тока можно получать относительно плоскую форму ванны при различных диаметрах расходоуемых электродов;

– при схеме с одним источником переменного тока для получения оптимального соотношения показателей формы ванны и производительности процесса предпочтительно применять вариант с отличающимся потенциалом на электроде и изделии.

Список литературы

1. Патон Б.Е., Медовар Б.И. (редакторы) (1986) *Металлургия электрошлакового процесса*. Киев, Наукова думка.
2. Иу К.О., Доминг Дж.А., Фландерс Х.Д. (1987) Макросегрегация в сплаве инконель 718, полученном способами ЭШП и ВДП. *Электрошлаковый переплав. Вып. 9. Материалы VIII междунар. конф. по вакуумной металлургии, специальным видам плавки и металлургическим покрытиям*, г. Линц, Австрия 30.09–4.10.1985, сс. 164–170.
3. Чумаков И.В., Пятагин Д.А. (2006) Особенности электрошлакового переплава на постоянном токе с вращением расходоуемого электрода. *Известия высших учебных заведений. Черная металлургия*, 3, 22–25.
4. Ksendzyk G.V., Frumin I.I., Shirin V.S. (1981) *Electroslag Remelting and Surfacing Apparatus*. USA, Pat.4.305.451.
5. Кусков Ю.М. (2006) Ресурсосберегающая технология восстановления и изготовления деталей методом электрошлаковой наплавки. *Технология машиностроения*, 6, 40–42.
6. Ksendzyk G.V., Frumin I.I., Shirin V.S. (1980) *Electroslag Remelting and Surfacing Apparatus*. USA, Pat.4.185.682.

7. Кусков Ю.М., Соловьев В.Г., Лентюгов И.П., Жданов В.А. (2018) Роль шлаковой ванны в процессе наплавки в токоподводящем кристаллизаторе. *Современная электрометаллургия*, 2, 41–44.
8. Kubin M., Scheriau A., Knabl M., Holzgruber H., Korp Y. (2016) Investigation of the implication of the current conductive mould technology with respect to the internal and surface quality of ESR ingots. *Medovar Memorial Symposium*, 7–10 June 2016, Kyiv, pp. 174–179.

References

1. (1986) *Metallurgy of electroslag process*. Ed. by B.E. Paton, B.I. Medovar. Kiev, Naukova Dumka [in Russian].
2. Iu, K.O., Doming, J.A., Flanders, H.D. (1987) Macrosegregation in Inconel 718 alloy, produced by ESR and VAR. *Electroslag remelting: Issue 9. In: Proc. of 8th Int. Conf. on Vacuum Metallurgy, Special Types of Melting and Metallurgical Coatings* (Linz, Austria, 30.09–4.10.1985), 164–170.
3. Chumakov, I.V., Pyatygin, D.A. (2006) Peculiarities of electroslag remelting at direct current with rotation of consumable electrode. *Izv. Vuzov. Chyorn. Metallurgiya*, 3, 22–25 [in Russian].
4. Ksendzyk, G.V., Frumin, I.I., Shirin, V.S. (1981) *Electroslag remelting and surfacing apparatus*. USA, Pat. 4.305.451.
5. Kuskov, Yu.M. (2006) Resource-saving technology of restoration and manufacture of parts by electroslag surfacing method. *Tekhnologiya Mashinostroeniya*, 6, 40–42 [in Russian].
6. Ksendzyk, G.V., Frumin, I.I., Shirin, V.S. (1980) *Electroslag remelting and surfacing apparatus*. USA, Pat. 4.185.682.
7. Kuskov, Yu.M., Soliviov, V.G., Lentuygov, I.P. Zhdanov, V.A. (2018) Role of slag pool in process of surfacing in current-carrying mould. *Sovrem. Elektrometall.*, 2, 41–44 [in Russian].
8. Kubin, M., Scheriau, A., Knabl, M., Holzgruber, H., Korp, Y. (2016) Investigation of the implication of the current conductive mould technology with respect to the internal and surface quality of ESR ingots. *In: Proc. of Medovar Memorial Symposium* (Ukraine, Kyiv, 7-10 June, 2016), 174–179.

ФОРМУВАННЯ МЕТАЛЕВОЇ ВАННИ ПРИ ЕЛЕКТРОШЛАКОВОМУ ПРОЦЕСІ В СТРУМОПІДВІДНОМУ КРИСТАЛІЗАТОРІ

Ю.М. Кусков, Т.І. Грищенко

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

Представлені результати експериментів з вивчення впливу різних технологічних параметрів на формування металевої ванни при електрошлаковому наплавленні дискретною присадкою або електродом чи безтоковою заготовкою великого перерізу в струмопідвідному кристалізаторі. Встановлено, що на форму металевої ванни можна впливати шляхом зміни електричного режиму процесу, електричної схеми підключення струмопідвідного кристалізатора з використанням постійного і змінного струму. Показано шляхи отримання сприятливої форми металевої ванни при підвищеній продуктивності електрошлакового процесу. Бібліогр. 8, табл. 2, рис. 2.

Ключові слова: кільцеве і торцеве електрошлакове наплавлення, струмопідвідний кристалізатор, металева ванна

FORMATION OF METAL POOL IN CURRENT-SUPPLYING MOULD AT ELECTROSLAG PROCESS

Yu. M. Kuskov and T. I. Grishchenko

E. O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine, 11 Kazimir Malevich Str., 03150, Kyiv.

E-mail: office@paton.kiev.ua

The results presented were on experiments of effect of different technological parameters on formation of metal pool at electroslag surfacing with discrete filler or electrode or non-conducting billet of large section in current-supplying mould. It is determined that shape of the metal pool can be effected by means of variation of electrical mode of the process, electrical scheme of connection of current-supplying mould using direct and alternating current. The ways for obtaining a correct shape of the metal pool at increased productivity of electroslag process were shown. 8 Ref., 2 Tabl., 2 Fig.

Keywords: circular and edge electroslag surfacing, current-supplying mould, metal pool

Поступила в редакцію 06.03.2019



MSV International Engineering Fair 2019

MSV International Engineering Fair is held in **BVV - Trade Fairs Brno** on **7 to 11 October 2019** showing the companies news of Czech Republic and internationals related to sectors Engineering, Automation, Financial, Industrial fairs.