УДК 669.187.2 DOI:10.26661/2071-3789-2019-1-41-04

Билоник Игорь Методиевич [(1)], доцент, кандидат технических наук
Попов Сергей Николаевич [(1)], профессор, кандидат технических наук
Шумикин Сергей Александрович [(1)], доцент, кандидат технических наук
Давидченко Станислав Владимирович [(2)], начальник лаборатории
Билоник Дмитрий Игоревич [(1)], магистрант

АНАЛИЗ СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОГО ПРОЦЕССА ПУТЕМ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ УСЛОВИЙ ПЛАВЛЕНИЯ РАСХОДУЕМОГО ЭЛЕКТРОДА

[(1)] *Запорожский национальный технический университет*
[(2)] *ЧАО «Электрометаллургический завод «Днепроспецсталь»*

Выполнен сравнительный анализ литературных данных по техническим решениям электрошлакового процесса. Установлено, что путем изменения тепловых условий плавления расходуемого электрода можно оказывать существенное влияние на производительность процесса, условия кристаллизации и качество металла.
Ключевые слова: электрошлаковый процесс, расходуемый электрод, кристаллизатор, подогрев, плавление, производительность

Введение. Электрошлаковые технологии (переплав, литье, наплавка, сварка) широко применяются в современной промышленности. Однако, специфика данных технологий, в частности использование в качестве источников теплоты расплавленных шлаков, обладающих низким электрическим сопротивлением, а также водоохлаждаемых кристаллизаторов, приводит к достаточно высокому расходу электроэнергии и ограничению допустимых скоростей наплавления металла.

Постановка задачи. Выполнение анализа априорной информации с целью определения технических решений, позволяющих повысить экономическую эффективность электрошлакового процесса (увеличить допустимую скорость наплавления слитка, снизить удельный расход электроэнергии) без ухудшения качества металла.

Основная часть исследований. При электрошлаковой выплавке заготовок деталей процессы плавления, рафинирования и кристалллизации металла протекают совместно в единой емкости (кристаллизаторе). Поэтому, структура, физико-химическая однородность литой стали, степень ее загрязненности неметаллическими включениями, а также серой, фосфором и газами, зависят от тепловых условий плавления расходуемого электрода.

В большинстве известных технологий электрошлаковой выплавки [1,2] тепловые условия плавления расходуемого электрода и скорость наплавления отливки определяются, в основном, величиной электрической мощности на шлаковой ванне и для повышения производительности процесса достаточно увеличить силу тока, протекающего через шлак. При этом, погружение электрода в шлаковую ванну сопровождается концентрацией тепловыделения преимущественно в осевой зоне кристаллизующейся отливки, существенным перегревом жидкого металла и сосредоточенным переносом капель в центральную часть металлической ванны [2]. Такой характер плавления расходуемого электрода приводит к уменьшению скорости кристаллизации отливки, снижению градиента температуры у поверхности раздела твердой и жидкой фаз, а также увеличению загрязненности стали неметаллическими включениями и ухудшению качества металла электрошлаковой отливки [3-5].

Следовательно, при электрошлаковой выплавке заготовок деталей по традиционным технологиям увеличивать производительность плавки форсированием мощности на шлаковой ванне нецелесообразно, так как при этом ухудшается качество литого металла.

Рассмотрены некоторые варианты изменения тепловых условий плавления расходуемого электрода, оказывающих благоприятное влияние на структуру литого металла, его чистоту по неметаллическим включениям и примесям, механические и служебные свойства при одновременном обеспечении повышения производительности процесса электрошлаковой выплавки заготовок.

В работах [6-8] предложено изменять тепловые условия плавления расходуемого электрода путем коаксиального введения в шлаковую ван-

© Билоник И.М., Попов С.Н., Шумикин С.А., Давидченко С.В., Билоник Д.И., 2019

ну нерасходуемого электрода из электропроводного материала. При этом, возрастает концентрация теплоты в зоне торца расходуемого электрода (происходит «сжатие поля»), повышается температура шлака в приэлектродной области и возрастает доля тепловой мощности, расходуемой на плавление металла. Коаксиальный нерасходуемый электрод способствует снижению тепловых потерь через стенку водоохлаждаемого кристаллизатора и перераспределению тепловых потоков по поверхности металлической ванны с более интенсивным вводом теплоты на периферийные участки. Такой характер изменения тепловых условий плавления расходуемого электрода обеспечивает улучшение условий кристаллизации отливки, повышение производительности плавки без дополнительных затрат мощности на шлаковой ванне. При получении отливок из стали ЭИ 961 электрошлаковой выплавкой с использованием коаксиального нерасходуемого электрода производительность плавки увеличилась в 1,35-1,40 раза, однако повысить качество литой стали не удается. Чистота по неметаллическим включениям, содержание газов, механические свойства опытных отливок из стали ЭИ 961 были на уровне серийного металла, полученного по традиционной технологии.

Широкие возможности в управлении тепловыми процессами плавления расходуемого электрода и кристаллизации металла при электрошлаковой выплавке заготовок деталей, открывает применение магнитного поля. Наиболее эффективным, в этом плане, оказались две схемы по одной из которых электрошлаковую выплавку осуществляли с наложением на шлаковую ванну поперечного магнитного поля, а по второй – с наложением на жидкую металлическую ванну реверсивных магнитных полей.

В первом случае, при взаимодействии магнитного поля с постоянной составляющей тока, протекающего через шлаковую ванну, происходит вращение шлака и изменение характера теплоотдачи от шлака к расходуемому электроду. Перенос металла приобретает многокапельный характер (создается капельный дождь с электродного торца). В результате повышается интенсивность обработки переплавляемого металла жидким шлаком, а условия кристаллизации сохраняются оптимальными при повышении скорости плавления слитка. В работе показано, что при электрошлаковой выплавке с наложением постоянного магнитного поля для отливок из высокопрочных сталей (углерод 0,95-1,05 %; марганец 0,90-1,20 %; кремний 0,20-0,65 %; хром 1,30-1,65 %) скорость наплавления может быть увеличена в 1,20-1,25 раза. В то же время, качество литой структуры переплавленной стали полностью отвечает требованиям соответствующих технических условий, а размер неметаллических включений снижается по сравнению с отливками серийной технологии. В частности, при ЭШВ с наложением поля размер оксидов изменяется в пределах 1,0-1,5 балла, сульфидов 0,5-1,5 балла. В отливках серийной технологии оксидные включения имели размер 0,5-2,5 балла, а сульфидные включения - 0,5-2,0 балла [9].

Во втором случае, условия плавления и кристаллизации изменяются воздействием реверсивного магнитного поля. В работе [10] показано, что возникающее при этом электромагнитное воздействие сообщает жидкому металлу реверсивное вращательное движение, в результате которого происходит дробление первичных дендритных осей и вместо направленных столбчатых кристаллов формируются равноосные мелкие зерна. Причем, в зависимости от параметров реверсивного магнитного поля (величины тока в обмотке соленоида), существенно изменяются как производительность плавки, так и механические свойства металла. В частности, для стали 14Х2Н3МА, полученной с наложением реверсивного магнитного поля, высокий уровень механических свойств (предел прочности σ_B, предел текучести $\sigma_т$, относительные удлинение δ и сужение ψ), сочетается с максимальной производительностью плавки (табл. 1).

Таблица 1 – Механические свойства стали 14Х2Н3МА и скорость наплавления отливки при ЭШВ с реверсивным магнитным полем [10]

Вариант выплавки	Ток в соленоиде, А	Скорость наплавления слитка $\cdot 10^{-2}$ кг/с	Механические свойства			
			$\sigma_в$, МПа	$\sigma_т$, МПа	δ, %	ψ, %
серийная технология	-	6,77	1378	1254	13,1	66,2
применение реверсивного магнитного поля	200	7,22	1381	1273	14,3	69,3
	300	8,05	1392	1280	14,4	67,7
	400	8,77	1398	1317	14,9	67,1

Улучшение структуры и свойств электрошлаковых заготовок деталей при одновременном увеличении производительности плавки достигается изменением тепловых условий плавления расходуемого электрода и затвердевания отливки за счет реверсивного вращения кристаллизатора (РВК). В работе [11] установлено, что при электрошлаковой выплавке отливок диам. 120 мм из стали ЭИ 481 с увеличением частоты реверсов скорость наплавления возрастает от $0{,}84\cdot10^{-2}$кг/с до $1{,}05\cdot10^{-2}$ кг/с. Причем, столбчатые кристаллы, направленные в серийной электрошлаковой отливке под небольшим углом к оси, изменяют свой наклон. Угол наклона увеличивался тем больше, чем интенсивней был процесс РВК. Поперечный размер столбчатых кристаллов в отливках, полученных при оптимальном режиме реверсирования, уменьшается почти в три раза по сравнению со структурой серийной отливки. Механические свойства (σ_B, σ_T, δ, ψ) отливок из стали ЭИ 481, полученных с применением РВК, увеличиваются в среднем на (5-10) %, а длительная прочность и пластичность возрастают в 1,15-1,25 и 2,2-2,5 раза, соответственно [11]. Однако, применение реверсивного вращения кристаллизатора для улучшения структуры литого металла и повышения его механических характеристик, возможно только для отливок, имеющих простую форму тел вращения.

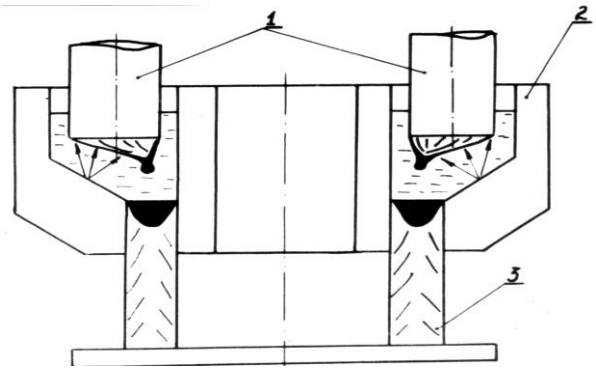
В ИЭС им. Е.О. Патона выполняются работы по оптимизации тепловых условий плавления расходуемого электрода с целью получения наиболее благоприятного фронта кристаллизации электрошлаковой заготовки за счет обеспечения равномерного подвода теплоты к поверхности металлической ванны. Наиболее перспективным направлением, в этом плане, является применение принудительного оплавления электродного торца [12,13].

Известно, что расположение источников каплепадения на электродном торце оказывает существенное влияние на геометрические размеры металлической ванны и условия кристаллизации, а, следовательно, и на структуру литого металла. Эксперименты, выполненные в ИЭС им. Е.О. Патона по электрошлаковой выплавке с подачей струи газа на плавящийся торец расходуемого электрода показали, что струя газа изменяет тепловые условия плавления электродного торца и, тем самым, оказывает влияние на его форму и характер каплепадения. При исследовании на «холодной» модели процесса переплава крупнотоннажных слитков-слябов было установлено, что без воздействия газовой струи на торец падение капель происходит, в основном, из середины прямоугольного сечения торца электрода. Поэтому, наибольшее количество теплоты переносится с каплями расплавленного металла в центральную часть отливки. Это может привести не только к снижению физико-химической однородности металла в центре отливки, но и образованию осевой пористости, грубой усадочной раковины и некоторых других дефектов макроструктуры. При подаче аргона в сопла, направленные на электродный торец, напротив сопел на торце образуются выемки, а между ними конусы с которых и происходит каплепадение расплавляемого металла. В этом случае, возрастает скорость плавления электрода, а падение капель происходит равномерно по сечению отливки [13].

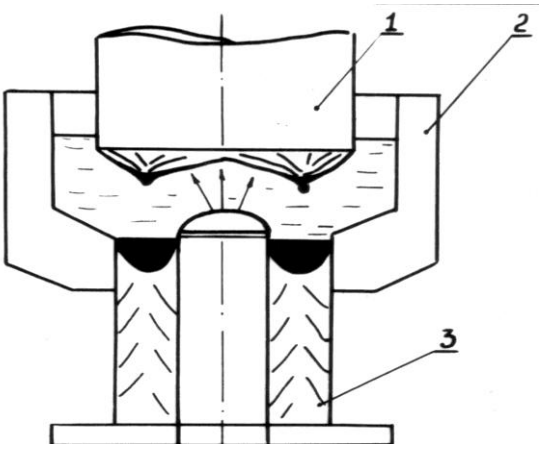
В реальном процессе, также как и на модели, наблюдали увеличение производительности плавки и перемещение центров каплеобразования к периферии торца электрода за счет подачи газа под его центральную часть.

На рис. 1 показаны некоторые схемы электрошлаковой выплавки с принудительным местным оплавлением электродов, разрабо_танные в ИЭС им. Е.О. Патона [13]. Необходимая топография источников каплепадения создается соответствующим тепловым воздействием газошлаковых потоков на плавящийся электродный торец.

Приведенные данные показывают, что условия кристаллизации электрошлаковых отливок, их структура и свойства, а также производительность плавки, существенным образом зависят от тепловых особенностей плавления расходуемого электрода. Производительность процесса определяется количеством теплоты, расходуемым на плавление металла, а структура, загрязненность неметаллическими включениями и свойства литой стали в большей степени зависят от характера ввода теплоты в расходуемый электрод. Однако, во всех рассмотренных случаях шлаковая ванна остается единственным источником теплоты, определяющим одновременно протекание процессов плавления, рафинирования и кристаллизации. Поэтому при электрошлаковой выплавке заготовок деталей электрические параметры на шлаковой ванне выбирают таким образом, чтобы обеспечить, в первую очередь, необходимый уровень свойств литой стали. С этой целью приходится, в определенных пределах, ограничивать скорость наплавления отливки и идти на высокие затраты электроэнергии.



а



б

1 - расходуемый электрод; 2 - кристаллизатор; 3 - отливка; а - выплавка полого слитка или обечайки; б - выплавка трубной заготовки
(стрелками указано направление подачи аргона)

Рисунок 1 – Схема электрошлаковой выплавки с принудительным местным оплавлением расходуемого электрода [13]

В любом случае для увеличения производительности процесса электрошлаковой выплавки в расходуемый электрод необходимо вводить дополнительное количество теплоты. Если электрические параметры на шлаке оставить неизменными, исходя из условий обеспечения оптимальных условий кристаллизации отливки, то дополнительное количество теплоты в расходуемый электрод можно ввести, используя вспомогательный источник нагрева. Такой технологический прием, то есть применение комбинированного нагрева с использованием двух и более источников теплоты, уже используется в некоторых сталеплавильных процессах [14,15], при сварке и наплавке [16-18]. В частности, как показано в работе [16], подогрев электродной проволоки дополнительным источником теплоты при сварке и наплавке приводит к увеличению производительности данных процессов. При сохранении неизменной мощности дуги, расплавляющей электродный металл, рост скорости плавления $G_П$ при дополнительном подогреве, по сравнению с обычным процессом G, определяется отношением:

$$\frac{G_П}{G} = \frac{H_{2500}}{H_{ТК} - H_П}, \qquad (1)$$

где $G_П$, G – скорость плавления электродной проволоки при нагреве ее дополнительным источником теплоты и без него соответственно; H_{2770} – энтальпия металла, перегретого до температуры 2770 К; $H_{ТК}$ – энтальпия капель электродного металла; $H_П$ – энтальпия электродного металла, поступающего в зону действия сварочной дуги.

Отношение $G_П/G$ тем больше, чем выше значение $H_П$, причем его величину можно существенно увеличить, применяя дополнительный подогрев, что обеспечивает повышение производительности процессов сварки и наплавления до 60 % [16].

Важной особенностью плавления сварочной проволоки, нагретой дополнительным источником теплоты, является снижение температуры перегрева капель электродного металла. По данным работы [17] при сварке проволокой марки Св-10ГА диам. 3 мм с увеличением температуры подогрева от 400 до 900 К температура капель электродного металла снижается от 2370 до 2000 К. Учитывая, что при электрошлаковой выплавке с каплями расплавленного металла в металлическую ванну вносится 60-70 % теплоты возможность уменьшения температуры перегрева капель позволит улучшить условия кристаллизации отливки, а также будет способствовать формированию более мелкого литого зерна.

В работе [18] отмечено, что подогрев расходуемых электродов дополнительным источником теплоты, вплоть до 1200 К, позволяет повысить коэффициент энергетической эффективности процесса от 0,50 до 0,58.

Увеличение производительности процесса электрошлаковой плавки может быть достигнуто в случае переплава расходуемых электродов с повышенной температурой, после их специального нагрева в газовых печах или после отжига [19].

Известен способ [20], в котором плавлению расходуемого электрода в шлаковой ванне способствует система плазменных горелок (или индуктор), что обеспечивает увеличение производительности процесса. Для аналогичных целей в патенте [21] предложено осуществлять дополнительный подогрев электрода до температуры, которая ниже температуры плавления металла не более, чем на 573 градусов.

В работе [22] предложен нагрев расходуемых электродов топливными горелками, установленными в плавильном поясе печи на расстоянии не более трех диаметров электродов от поверхности шлаковой ванны.

Одним из вариантов интенсификации электрошлакового процесса за счет применения дополнительного источника теплоты является подогрев во время плавки расходуемого электрода и поверхности шлаковой ванны плазменной горелкой [23].

В Национальной металлургической академии Украины выполнены теоретические исследования возможности применения подогрева расходуемого электрода газовым пламенем для повышения технико-экономической эффективности электрошлакового процесса. Установлено, что за счет дополнительного подогрева можно снизить затраты электроэнергии на 18-20 %, а также повысить производительность процесса электрошлаковой выплавки на 10 %.

Увеличение времени пребывания расходуемого электрода при повышенных температурах оказывает влияние на дальнейшее рафинирование металла. Исследованиями, выполненными в ИЭС им. Е.О. Патона, установлено, что еще до момента расплавления, в металле расходуемого электрода при температурах порядка (1373-1473) К происходят процессы диссоциации и частичного растворения сульфидных включений в твердой фазе [24]. По-видимому, дополнительный подогрев расходуемого электрода также должен способствовать протеканию данных процессов.

Результаты, представленные в работах [16-24], свидетельствуют о целесообразности применения дополнительного подогрева расходуемого электрода для повышения технико-экономических характеристик электрошлакового процесса, но вопрос об улучшении качества литого металла не рассматривали. Следует отметить, что дополнительный подогрев существенно изменяет тепловые условия плавления расходуемого электрода, что, безусловно, должно оказать влияние на структуру и свойства электрошлаковых заготовок деталей.

Выводы. Изменение тепловых условий плавления расходуемого электрода оказывает существенное влияние на производительность процесса, условия кристаллизации металла и, следовательно, качество металла. Целесообразно изменить тепловые условия плавления расходуемого электрода путем применения дополнительного источника теплоты. В этом случае можно оказывать влияние на характер каплеобразования на электродном торце так, чтобы расплавленные капли максимально равномерно попадали на зеркало металлической ванны. При этом возможно увеличение в определенных пределах допустимой скорости наплавления слитка без снижения качества металла. Применение дополнительного источника нагрева расходуемого электрода обеспечивает повышение технико-экономических показателей процесса.

Библиографический список

1. **Патон, Б. Е.** Электрошлаковое литье [Текст] / Б. Е. Патон, Б. И. Медовар, Г. А. Бойко. – Киев : Наукова думка, 1980. – 192 с.
2. **Медовар, Б. И.** Электрошлаковый переплав [Текст] / Б. И. Медовар, Ю. В. Латаш, Б. И. Максимович и др. – М. : Металлургия, 1963. – 169 с.
3. **Бэллэнтай, А. С.** Влияние скорости плавления на структуру слитков ВДП и ЭШП [Текст] / А. С. Бэллэнтай, А. Митчел // Электрошлаковый переплав. – Киев, 1979. – С. 189-200.
4. **Якушев, О. С.** Влияние скорости наплавления слитка на качество металла ЭШП [Текст] / О. С. Якушев, С. П. Бакуменко, В. И. Лебедев и др. // Производство сталей и сплавов в электрошлаковых печах. – М., 1983. – С. 41-42.
5. **Mitchell, A.** Practical aspects of electroslagremelting technology [Text] / A. Mitchell, R Smailer // International Metals Reviews. – 1979. – Vol. 24, No. 5. – P. 231-264.
6. **Миронов, Ю. М.** Исследование процесса электрошлаковой наплавки со сжатым полем и подключенным нерасходуемым электродом [Текст] / Ю. М. Миронов // Исследование новых электротехнологических процессов в металлургии и металлообработке. – Чебоксары, 1969. – С. 38-40.
7. **Миронов, Ю. М.** Схема электрошлакового переплава со сжатым полем [Текст] / Ю. М. Миронов // Исследование электрофизических и электротермических процессов и явлений. – Чебоксары, 1970. – С. 17-19.
8. **Миронов, Ю. М.** Сжатие поля с помощью проводящего экрана – новое средство повышения эффективности электрошлакового переплава [Текст] / Ю. М. Миронов // Доклады Всесоюзного совещания по специальным методам выплавки стали. – М., 1968. – С. 16-18.
9. **Забалуев, Ю. И.** Применение соленоида постоянного тока при электрошлаковом переплаве [Текст] / Ю. И. Забалуев, Е. И. Мошкевич, Г. М. Бродский и др. // Специальная электрометаллургия. – 1976. – № 29. – С. 44-49.
10. **Якушев, О. С.** Электрошлаковый переплав с наложением электромагнитных полей [Текст] / О. С. Якушев

// Специальная электрометаллургия. – 1974. – № 23. – С. 76-81.
11. **Тучкевич, М. М.** Влияние реверсивного вращения кристаллизатора на процесс ЭШП и качество слитка [Текст] / М. М. Тучкевич, В. П. Гречин, М. М. Клюев // Специальная электрометаллургия. – 1973. – № 19. – С. 34-45.
12. **Медовар, Б. И.** Моделирование принудительного оплавления плоского расходуемого электрода при ЭШП [Текст] / Б. И. Медовар, Г. А. Бойко, В. П. Сердюкова // Проблемы специальной электрометаллургии. – 1975. – № 3. – С. 10-14.
13. **Медовар, Б. И.** Применение холодной модели ЭШП при моделировании процесса плавления расходуемых электродов [Текст] / Б. И. Медовар, Г. А. Бойко, С. П. Егоров // Рафинирующие переплавы. – К. : Наукова Думка, 1975. – № 2. – С. 63-67.
14. **Walter, J.** Plasma/MIG joining cladding 7:1 [Text] / J. Walter. – Mach and Tool Blue Book. – 1979. – Vol. 74, No. 12. – P. 99-100.
15. **Костяков, В. И.** Плазменно-индукционная плавка для фасонного литья [Текст] / В. И. Костяков, А. П. Ноженко, А. А. Волошин и др. // Проблемы специальной электрометаллургии. – 1982. – № 16. – С. 68-70.
16. **Безбах, Д. К.** Исследование предварительного нагрева электрода для повышения производительности сварки [Текст] / Д. К. Безбах // Автоматическая сварка. – 1962. – № 4. – С. 28-29.
17. **Попков, А. М.** Влияние дополнительного подогрева электродной проволоки на температуру капель и электрические параметры процесса сварки [Текст] / А. М. Попков, Ж. Е. Абилов // Сварочное производство. – 1976. – № 3. – С. 12-13.
18. **Тепловые процессы при электрошлаковом переплаве** [Текст] / Под ред. Б. И. Медовара. – Киев : Наукова думка, 1978. – 304 с.
19. **Глебов, А. Г.** Электрошлаковый переплав [Текст] / А. Г. Глебов, Е. И. Мошкевич. – М. : Металлургия, 1978. – 216 с.
20. **Пат. 775083, Бельгия, МКИ^3 В22Д 23/06.** Способ рафинирования металлов. Аннотации зарубежных патентов по вопросам специальной электрометаллургии // Специальная электрометаллургия, 1980. – № 36. – С. 22.
21. **Пат. 282009, Австрия, НКИ^3 31 2/03.** Способ ЭШП. Изобретения за рубежом, 1973. – № 8. – С. 16.
22. **А.с. № 268454 СССР, МКИ^3 С52 5/56.** Печь электрошлакового переплава [Текст] / П. П. Берг. – Заявка № 100152; заявл. 11.05.72; опубл. 15.03.76. Бюл. №13.
23. **А.с. № 264426 СССР, МКИ^3 В22Д 23/06.** Способ электрошлакового переплава [Текст] / С. Б. Бакуменко. – Заявка № 100275; заявл. 17.12.71; опубл. 22.03.82.
24. **Медовар, Б. И.** Трансформация и механизмы удаления сульфидных включений при электрошлаковом переплаве электродов большого сечения [Текст] / Б. И. Медовар, Ю. Г. Емельяненко, В. М. Тихонов // Доклады АН СССР. – 1974. – Т. 218, № 2. – С. 406-408.

Білонік Ігор Методійович, кандидат технічних наук, доцент кафедри обладнання та технології зварювального виробництва. Запорізький національний технічний університет (Україна, Запоріжжя). E-mail: kafedra_otzv-@zntu.edu.ua
Попов Сергій Миколайович, кандидат технічних наук, професор кафедри обладнання та технології зварювального виробництва, Запорізький національний технічний університет (Україна, Запоріжжя). E-mail: kafedra_-otzv@zntu.edu.ua
Шумикін Сергій Олександрович, кандидат технічних наук, доцент кафедри обладнання та технології зварювального виробництва, Запорізький національний технічний університет (Україна, Запоріжжя). E-mail: shusa-1958@ukr.net
Давидченко Станіслав Володимирович, начальник електросталеплавильної лабораторії ПрАТ «Електрометалургійний завод «Дніпроспецсталь» (Україна, Запоріжжя). E-mail: davidchenko_stan@ukr.net
Білонік Димитрій Ігорович, магістрант кафедри обладнання та технології зварювального виробництва, Запорізький національний технічний університет (Україна, Запоріжжя). E-mail: kafedra_otzv@zntu.edu.ua

АНАЛІЗ СПОСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОГО ПРОЦЕСУ ШЛЯХОМ ЗМІНЮВАННЯ ТЕПЛОВИХ УМОВ ПЛАВЛЕННЯ ВИТРАЧАЄМОГО ЕЛЕКТРОДУ

Виконано порівняльний аналіз літературних даних щодо технічних вирішень электрошлакового процесу. Встановлено, що шляхом змінювання теплових умов плавлення витрачаємого електрода можна впливати на продуктивність процесу, умови кристалізації та якість металу.
Ключові слова: электрошлаковий процес, витрачаємий електрод, кристалізатор, підігрівання, плавлення, продуктивність

Bilonik Igor, candidate of technical sciences, Associate Professor of Department of the Equipment and Technology of Welding Production, Zaporizhzhya National Technical University (Ukraine, Zaporizhzhya). E-mail: kafedra_otzv-

@zntu.edu.ua
Popov Sergiy, candidate of technical sciences, Professor of Department of the Equipment and Technology of Welding Production, Zaporizhzhya National Technical University (Ukraine, Zaporizhzhya). E-mail: kafedra_otzv@zntu.edu.ua
Shumykin Sergiy, candidate of technical sciences, Associate Professor of Department of the Equipment and Technology of Welding Production, Zaporizhzhya National Technical University (Ukraine, Zaporizhzhya). E-mail: shusa1958@ukr.net
Davidchenco Stanislav, Head of Electrometallurgical Laboratory of PJSC «Electrometallurgical Plant» «Dnipro-spetsstal» (Ukraine, Zaporizhzhya). E-mail: davidchenko_stan@ukr.net
Bilonik Dmitry, postgraduate of Department of the Equipment and Technology of Welding Production, Zaporizhzhya National Technical University (Ukraine, Zaporizhzhya). E-mail: kafedra_otzv@zntu.edu.ua

ANALYSIS OF INCREASING EFFICIENCY METHODS FOR ELECTROSLAG PROCESS BY MEANS OF CHANGING THE HEATING CONDITIONS OF THE CONSUMED ELECTRODE

One of the problems of electroslag remelting (ESR) is a high energy consumption and the restriction of admissible speeds of the weld metal. This is due to the specifics of the technologies for melting, casting, fusing and welding. A characteristic feature of the technology is the combination of the processes of melting, refining and solidification of metals in a receptacle (a water-cooled mold). Course structure and homogeneity of cast steel, the degree of contamination of non-metallic inclusions, as well as sulphur, phosphorus and gases depend on the thermal conditions of melting of consumable electrode. Various methods and devices to increase the temperature in the zone of the consumable electrode: coaxial introduction into the slag bath non-consumable electrode; applying a magnetic field are studied. Most effective, in this respect, two diagrams superimposed on the slag bath of a transverse magnetic field, and superimposed on the liquid metal bath of reverse magnetic fields. In the first case, increases the intensity of metal processing liquid slag, while maintaining the crystallization conditions. In a second embodiment, the liquid metal receives the reverse rotational movement, in which the crushing of the primary dendritic axes and small equiaxed grains are formed. Significant changes in the melting performance and mechanical properties of the metal. It is shown that for steel 14X2H3MA you can increase the speed of melting of the ingot to between 6.7 to 29.5%, and the mechanical properties increase up to 4.8%.. casting of steel EI 481 mechanical properties, increase on average by (5-10) %' and long-term strength and ductility increase to 1.15 to 1'25 and 2.2-2'5 times, respectively. However, the application of the method is limited by casting, having a simple form of bodies of revolution. Also the technology of smelting with a jet of gas is considered at the melting end of the consumable electrode. The observed increase in melting performance, and moving centers kapleobrazovanie to the periphery of the end face of the electrode. . Theoretical studies in NMA shows that the application of additional heating source consumable electrode provides increased technical and economic indicators of the process. The possibility of cost reduction of electricity by 18-20% and also improve performance of the process of the ESR on 10 %.
Key words: electro-slag process, method, consumed electrode, crystallizer, heating, melting, productivity.

Стаття надійшла до редакції 17.01.2019 р.
Рецензент, проф. О.А. Митяєв