



УДК 621.365.5:533.9

ПЛАЗМЕННЫЕ ПРИСТАВКИ ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ИНДУКЦИОННЫХ ПЕЧАХ

В. Л. Найдек, В. Н. Костяков, А. А. Волошин

Рассмотрены особенности плавки металлов в плазменно-индукционных печах, приведены технические характеристики плазменных приставок к индукционным печам. Показано, что дополнительный нагрев металла в индукционных печах позволяет повысить скорость плавки и качество металла, а также снизить энергоемкость процесса.

Peculiarities of melting of metals in plasma-induction furnaces are considered, the technical characteristics of plasma attachments to induction furnaces are given. It is shown that the auxiliary heating of metal in induction furnaces allows increasing the melting speed and quality of metal and also decreasing the power intensity of the process.

Ключевые слова: индукционная печь; плазма; плавка; металл; качество; шихта; дуга; плазменная приставка

В машиностроении для изготовления отливок из черных и цветных металлов широко применяют индукционные печи, позволяющие проводить термовременную обработку, рафинирование, легирование и модифицирование металла в печи. Для них характерна высокая технологическая гибкость, благодаря которой обеспечивается получение металла заданного химического состава, выпуск жидкого металла произвольными порциями, длительное его хранение без изменения свойств, использование шихты малой объемной массы.

К достоинствам индукционных печей следует отнести также наиболее благоприятные санитарно-гигиенические условия труда и существенное оздоровление воздушного бассейна вследствие резкого уменьшения промышленных выбросов [1].

В последние годы созданы более совершенные индукционные печи [2, 3]. Однако по-прежнему их технологические возможности весьма ограничены, поскольку не позволяют вести активный металлургический процесс плавки. Малая вместимость индукционных печей исключает также применение в технологическом цикле производства отливок традиционных способов внепечной обработки металла, столь широко используемых в металлургии.

Таким образом, требуется совершенствование технологии и интенсификация процесса плавки в индукционных печах, создание новых высокопро-

изводительных плавильных агрегатов на базе индукционных печей.

Повышение эффективности работы индукционных печей связано с комплексом мероприятий по организации рациональной технологии и увеличению их КПД.

Анализ работы индукционных печей показал их неэффективность в режиме подогрева шихты до плавления, а также низкие значения КПД [4].

Среди всех известных способов интенсификации плавки в индукционных печах наиболее эффективным является дополнительный нагрев металла плазменной дугой постоянного или переменного тока. Такой способ позволяет не только интенсифицировать процесс плавки металла, но и повысить его качество [5].

Физическая сущность дополнительного нагрева металла плазменной дугой в индукционных печах, влияние его на основные показатели работы печей и характер протекания металлургических процессов в металлической ванне подробно рассмотрены в работе [6].

При комбинированном плазменно-индукционном нагреве расплавление металла осуществляется путем прямого нагрева шихты индуктором и косвенного нагрева металла плазменной дугой.

Коэффициент интенсификации плавки в индукционной печи с дополнительным нагревом металла плазменной дугой может быть выражен следующим образом [4]:

Технические характеристики плазменных приставок

Тип печи	Вместимость тигля	Подводимая к плазмотрону мощность	Ток, А	Напряжение, В	Экономия электроэнергии на 1 т жидкого металла, кВт·ч
ИСТ	0,16... 0,25	50	1000	230	400
	0,4... 0,5	70	1000	230	350
	1,0	150	1600	300	270
ИЧТ	6,0	100	1250	230	100
	10,0	100	1250	230	100

Примечание. Использован постоянный ток; рабочий газ в ИСТ — аргон, в ИЧТ — воздух.

$$K = I + \frac{P_{пл}}{P_{и}} \cdot \frac{\eta_{пл}}{\eta_{и}}$$

Из этого уравнения следует, что значение коэффициента интенсификации плавки в индукционной печи при комбинированном нагреве зависит от соотношения мощностей $P_{пл}$, $P_{и}$ и КПД плазмотрона $\eta_{пл}$ и индуктора $\eta_{и}$.

Расчетные и экспериментальные данные показали, что коэффициент интенсификации плавки с увеличением термического КПД индукционной печи уменьшается. Поэтому для индукционных печей большой вместимости, работающих с высоким значением термического КПД, эффективность нагрева металла плазменной дугой снижается. Однако не представляется возможным учесть особенности нагрева металла плазменной дугой, для которой условия теплопередачи улучшаются с увеличением геометрических размеров плавильной ванны.

В реальных условиях интенсификации процесса плавки в индукционной печи достигают за счет эффективного использования энергии плазменной дуги в период расплавления шихты, когда дуга практически полностью экранируется кусками шихты и, следовательно, вся выделенная мощность в столбе дуги расходуется на расплавление металла [7]. При этом горячий газ довольно хорошо омывает кусковую шихту, а большой градиент температуры обеспечивает высокую скорость теплопередачи к металлу. В этот период конвективный теплообмен в тигле плазменно-индукционной печи аналогичен таковому в шахтных печах, характеризующихся большой поверхностью нагрева.

Некоторое различие состоит в том, что в плазменно-индукционных печах не достигается равномерное распределение плазмообразующего газа по сечению плавильного тигля, и на отдельных участках процесс теплопередачи к металлической шихте интенсифицируется за счет выделения дополнительного тепла вследствие рекомбинации молекул газа. В результате на дне тигля уже в начальный период плавки образуется жидкое «болото», повышающее эффективность работы индуктора. После расплавления шихты интенсивность теплопередачи от плазменной дуги к жидкой ванне снижается.

Плазменно-индукционные печи являются прогрессивными плавильными агрегатами, предназначенными для плавки черных и цветных металлов и сплавов. С металлургической точки зрения эти печи имеют определенные преимущества, по сравнению с индукционными: возможность ведения активного металлургического процесса плавки, незначительный угар легирующих элементов, высокая скорость плавки, более низкая энергоемкость плавки, равномерное распределение температуры в объеме тигля и др.

Благодаря таким преимуществам плазменно-индукционные печи могут использоваться для выплавки практически всех марок стали, чугуна, алюминиевых и медных сплавов. Кроме того, в них можно выполнять жидкофазное восстановление хрома, никеля, ванадия, молибдена и других элементов из оксидных расплавов металлургических шлаков и шламов, окалины, золы ТЭС, гальваношламов. Это обеспечивает существенное снижение стоимости выплавляемого металла.

Многолетний опыт ФТИМС НАН Украины по созданию оборудования и технологии плавки металлов с применением плазменного нагрева позволил создать плазменные приставки к индукционным печам различной вместимости (таблица).

Данные таблицы показывают, что с увеличением вместимости индукционных печей эффективность нагрева металла снижается, о чем свидетельствуют результаты экономии электроэнергии. Так, для печей малой вместимости экономия энергии составля-



Плазменно-индукционная печь вместимостью 1,5 т



ет 270... 400 кВт·ч/т, а с увеличением вместимости удельный расход электроэнергии снижается до 100 кВт·ч/т.

Однако эффективность дополнительного нагрева металла плазменной дугой в индукционной печи не уменьшается, поскольку металлургические возможности этих печей довольно высокие. Так, например, от вида шихты при выплавке стали не зависит качество выплавленного металла [8]. Кроме того, рафинирующее воздействие плазменной дуги на металл в процессе плавки влияет на поведение неметаллических включений. В выплавленном металле они измельчаются и равномерно распределяются в объеме отливки. Это обуславливает повышение пластических характеристик и ударной вязкости сплавов. При выплавке чугуна уменьшение вредных примесей, например серы, способствует сокращению расхода модифицирующих добавок в несколько раз.

По инициативе и при участии ФТИМС НАН Украины организовано производство плазменно-индукционных печей малой вместимости на ПО «ДагЗЭТО» г. Избербаш (Россия). Однако распад СССР затормозил широкое внедрение на предприятиях машиностроительного комплекса прогрессивной технологии плазменно-индукционной плавки.

Следует отметить, что на предприятиях машиностроительного комплекса Украины не проявили интерес к этой прогрессивной технологии плавки, преимущества которой в условиях энергетического кризиса очевидны, в отличие от предприятий бурно развивающегося Вьетнама.

В 2008 г. на одном из предприятий Вьетнама введена в эксплуатацию плазменно-индукционная печь вместимостью 1,5 т (рисунок), для которой

плазменную приставку разработали и изготовили во ФТИМС НАН Украины.

Таким образом, в условиях кризиса в Украине одним из направлений экономии энергоресурсов в литейном производстве, характеризующимся большой энергоемкостью на этапе приготовления сплавов, является дооборудование индукционных печей плазменными приставками. Это позволит не только сократить энергозатраты, но и внедрить новые ресурсосберегающие технологии.

1. *Современный уровень индукционных печей для плавки чугуна* / М. Я. Свистунова, В. Г. Ладожский, А. А. Простяков, В. С. Шумихин. — Киев, 1980. — 39 с. (Препр. / АН УССР. Ин-т проблем литья, № 11).
2. *Лузгин В. И.* Индукционные системы и методы среднечастотной плавки черных металлов // *Металлург.* — 2008. — № 5. — С. 38–43.
3. *Лузгин В. И., Петров А. Ю.* Современные технологии переработки лома и цветных металлов // *Металлургия машиностроения.* — 2008. — № 1. — С. 6–11.
4. *Интенсификация* процесса плавки и рафинирования металла в индукционных печах / В. А. Ефимов, Г. П. Борисов, В. Н. Костяков, А. И. Шевченко // *Технология и организация производства.* — 1969. — № 11. — С. 8–10.
5. *Костяков В. Н.* Интенсификация плавки в индукционных плавильных печах // *Литейн. пр-во.* — 1972. — № 8. — С. 41–42.
6. *Костяков В. Н.* Плазменно-индукционная плавка. — Киев: Наук. думка, 1991. — 208 с.
7. *Лакомский В. И., Костяков В. Н.* Перспективы применения плазменного нагрева при выплавке высококачественных сталей и сплавов в плавильных печах // *Рафинирующие переделы.* — 1974. — Вып. 1. — С. 212–224.
8. *Полетаев Е. Б.* Выплавка шихтовой заготовки из нержавеющей стали 09Х16Н4БА в плазменно-индукционной печи ИСТП-0,16 // *Прогрессивные способы плавки литейных сплавов: Сб. науч. тр.* — Киев: ИПЛ АН УССР, 1987. — С. 23–26.

Физико-технолог. ин-т металлов и сплавов
НАН Украины, Киев
Поступила 11.03.2009