

## ТУРБОИНДУКЦИОННАЯ ПЛАВИЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Установки индукционной плавки зарекомендовали себя как высокоэффективные электроплавильные устройства, позволяющие вести процессы расплавления, рафинирования, приготовления сложных сплавов, переработки металлических отходов, металлолома и оксидосодержащей шихты. За многие годы совершенствования конструкция индукционной тигельной печи (ИТП) была доведена до наиболее эффективного конструктивного исполнения, обеспечивающего высокие технико-экономические и технологические показатели. КПД индукционных тигельных печей имеет достаточно высокие значения по сравнению с другими электроплавильными установками. Питание ИТП может осуществляться от различных источников питания, в том числе – от печных трансформаторов, электромашинных преобразователей и полупроводниковых источников питания различной частоты. Режимы электропитания ИТП оптимизируют под конкретную работу, с учетом переплавляемого металла, его физических и электрических свойств, гранулометрического состояния шихты и т.п.

Несмотря на существенный ряд достоинств ИТП им присущи некоторые недостатки. Известно, что немаловажным фактором, влияющим на протекание процессов в расплаве и, в конечном итоге, на качество готовой продукции, является циркуляция расплава в тигле. При традиционном однофазном питании индуктора ИТП расплав циркулирует по двум (верхнему и нижнему) тороидальным контурам, обусловленным наличием нормального сжимающего электродинамического давления, которое вследствие неравномерности магнитного поля по высоте имеет в центре максимальное значение. Такое силовое воздействие на металл приводит также к образованию мениска (выпуклости на поверхности расплава). Все эти процессы негативно влияют на процесс плавки, в частности, плохо смешиваемые контуры циркуляции расплава приводят к неоднородности химсостава сплава, а мениск приводит к переохлаждению поверхности и к необходимости использования большего количества защитного шлака. При плавке алюминия, особенно на низких частотах высота мениска может намного превышать регламентированные 15 % от высоты металла, а в некоторых случаях может образовываться зазор между внутренней стенкой тигля и металлом, что приводит к уменьшению эффективности индукционного нагрева. Немаловажным моментом является также то, что вследствие недостаточного перемешивания расплава при классических схемах питания индуктора в ИТП невозможно или крайне затруднительно вести плавку шихты, содержащей большое количество оксидов, так как для быстрого протекания реакций восстановления необходимо создавать высокие скорости циркуляции расплава. Применение многосекционных индукторов с питанием от многофазных источников питания во многом улучшает характер циркуляции металла, однако общепринятая конфигурация тигля ИТП с высотой, в среднем в 1,5 раза превышающей его диаметр, не позволяет вести процессы восстановления оксидосодержащей шихты вследствие недостаточно развитой поверхности реакции.

Упомянутые недостатки и возрастающие требования к качеству получаемого металла и полуфабрикатов привели к интенсивному поиску решений по созданию принципиально новых плавильных агрегатов на базе ИТП, совмещающих в себе несколько технологий. Для обеспечения более интенсивной циркуляции расплава, а также для придания расплаву других, не свойственных обычным ИТП, видов

движения металла были проведены исследования по совмещению ИТП с другими электрическими машинами, в частности – с линейными асинхронными двигателями, которые могут обеспечить бесконтактное силовое воздействие на расплав, придавая ему поступательное, вращательное или любое другое движение в рамках заданного тиглем объема.

На рис. 1 показана конструкция плавильной установки на основе ИТП, предлагаемая в патенте № JP2004108666 (от 2004-04-08). Установка представляет собой индукционную плавильную печь с установленным в нижней ее части электромагнитным устройством – статором, создающим вращающееся магнитное поле. Под воздействием этого поля металл во всем объеме тигля начинает вращаться и на его поверхности образуется лунка. Такая конструкция обеспечивает интенсивное взаимодействие металла с загружаемой сверху порошкообразной шихтой и быстрое протекание металлургического процесса. Однако, так как пропорции ИТП остаются классическими, то площадь поверхности реакции по-прежнему невелика.

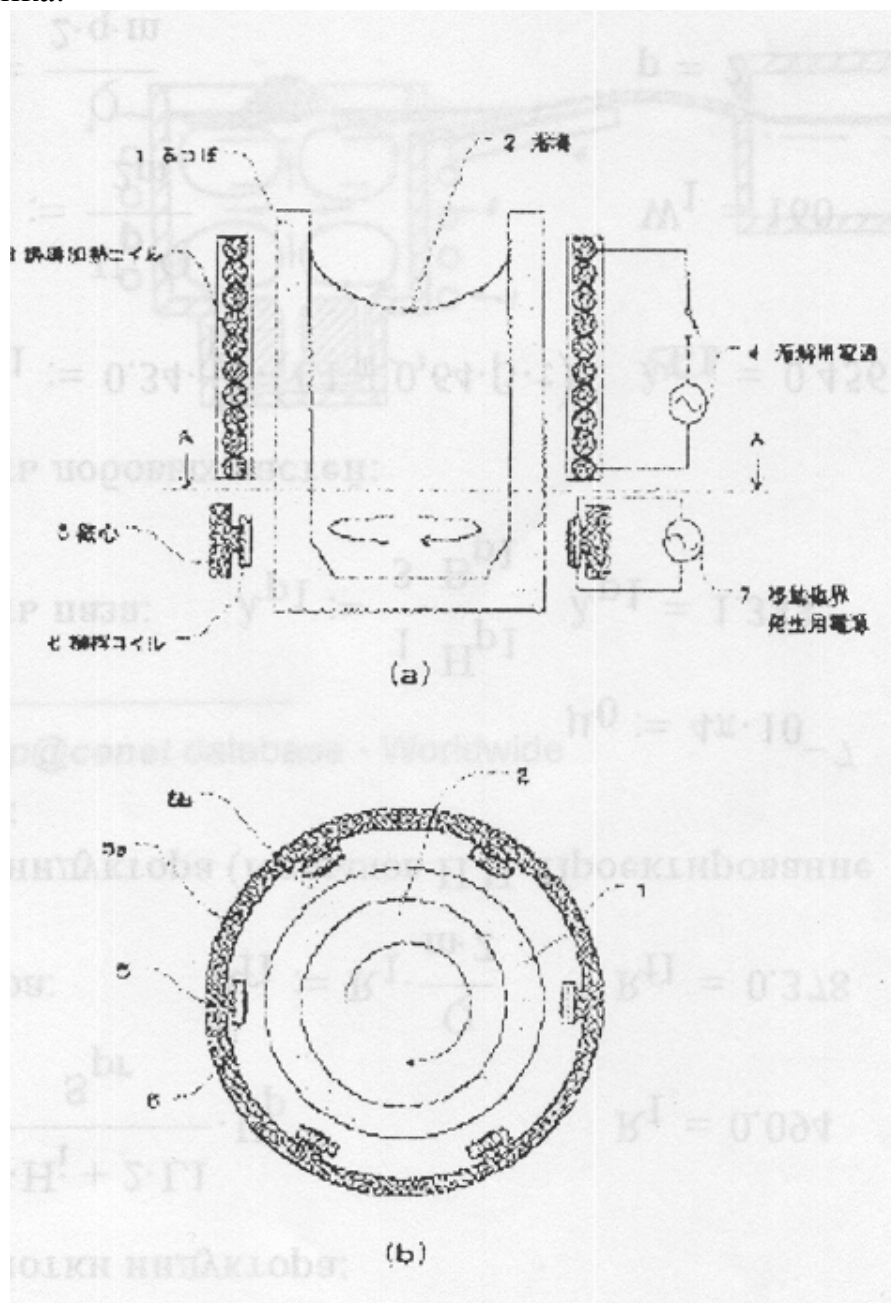


Рис. 1

На рис. 2 показана конструкция плавильной установки, совмещающей в себе индукционные тигельную и канальную печи (патент № US4571258 от 1986-02-18). В этой конструкции опять же для повышения интенсивности циркуляции расплава традиционная ИТП дополнена канальной частью, в которой, как известно, можно добиться достаточно интенсивного движения металла. Однако известно, что при переработке шихты черных металлов в ванне достигаются очень высокие температуры плавления. Вкупе с высокой интенсивностью циркуляции расплава высокая температура приводит к очень быстрому размыванию футеровки, а поскольку в канальной части ее толщина мала, то срок службы такой конструкции будет крайне коротким.

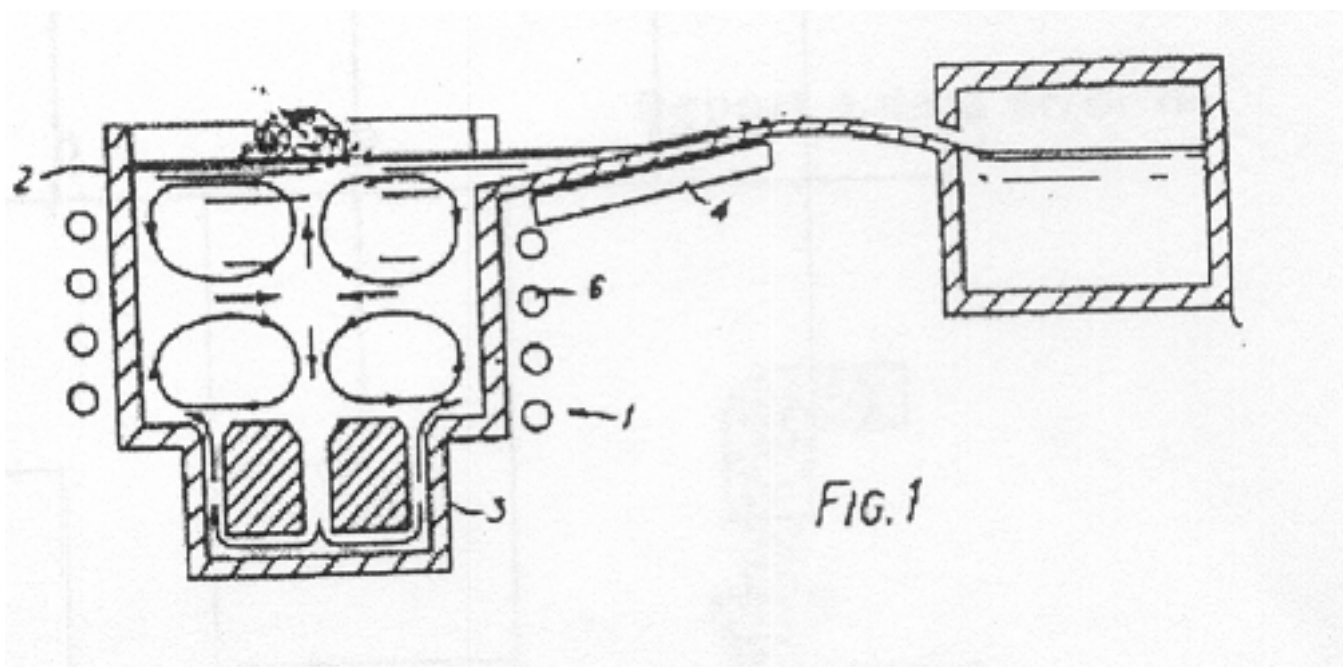


Рис. 2

На рис. 3 предложена конструкция, совмещающая в себе индукционные тигельную и канальную печи, но имеющая также систему бокового слива металла. Электромагнитная система позволяет получать интенсивную циркуляцию расплава как в зоне реакции с загружаемой шихтой, так и в глубине расплава. Верхний индуктор представляет собой однофазную катушку, которая используется для первичного индукционного нагрева шихты, поступающей в расплав сверху в виде мелкого порошка. В канальной части печи производится перемешивание расплава с целью выравнивания химсостава, а также дополнительный подогрев. Данная конструкция, очевидно, не лишена недостатков предыдущего образца, к тому же она достаточно громоздка.

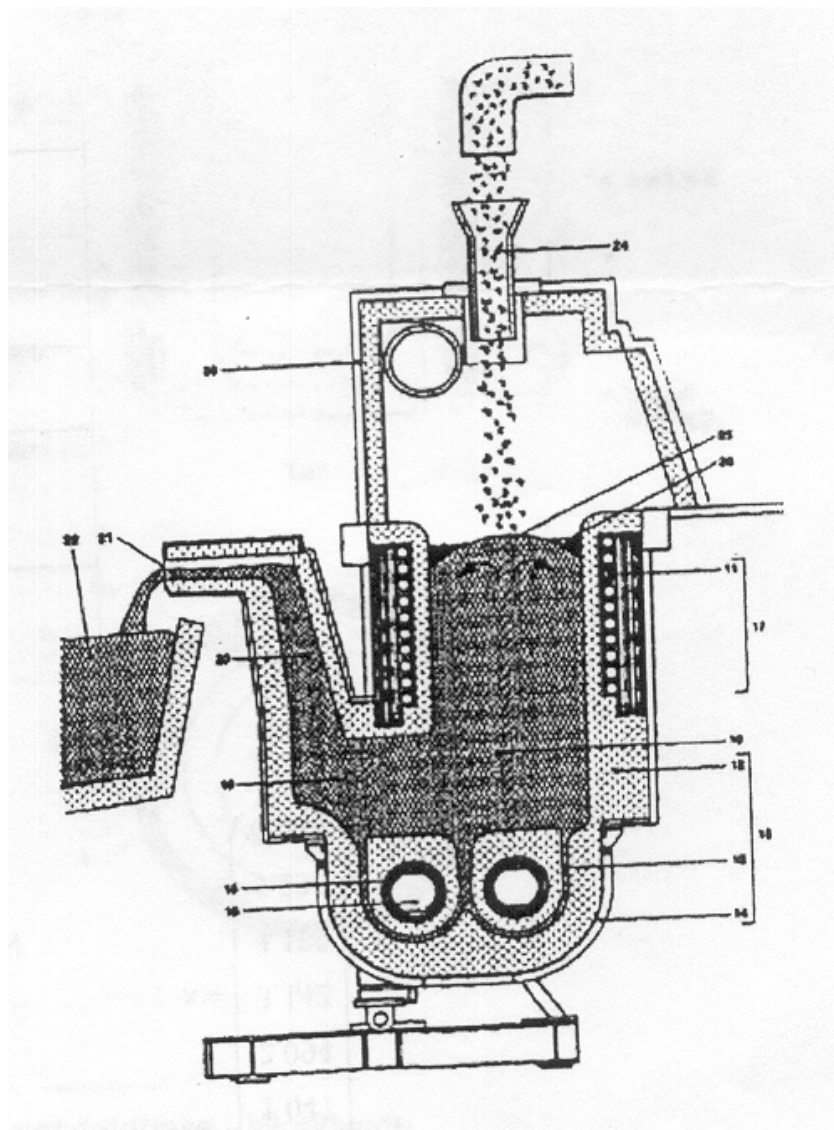


Рис.3

Проанализировав все вышеперечисленные варианты, а также некоторые другие запатентованные конструкции, можно сделать вывод о том, что необходимо разработать конструкцию индукционной электроплавильной установки, совмещающей в себе узлы индукционного нагрева и электромагнитного перемешивания расплава, которая позволила бы избежать всех вышеперечисленных недостатков и обеспечила бы эффективный нагрев расплава одновременно с возможностью гибкого управления его течением.

На рис. 4 изображена конструкция турбоиндукционной плавильной установки. Установка выполнена на базе индукционной тигельной печи с традиционными пропорциями тигля, что обеспечивает высокую эффективность индукционного нагрева загрузки. Существенным отличием индуктора ИТП является то, что его питание может быть как однофазным, так и трехфазным. Однофазное питание высокой частоты обеспечивает высокую скорость нагрева и высокий КПД. Трехфазное питание пониженной частоты обеспечивает одноконтурную циркуляцию расплава, необходимую для выравнивания химсостава и температуры по объему тигля. При необходимости можно использовать специальные источники питания, обеспечивающие модуляцию высокой частоты низкочастотными трехфазными колебаниями для одновременного нагрева и перемешивания расплава. Скорость и направление перемешивания могут быть также изменяемыми.

Тигель предлагаемой установки имеет в верхней части дополнительную чашу большего диаметра, в которой производится вращение расплава с целью образования лунки, в которую загружается мелкая шихта и производится химическая реакция расплав-шлак. После проведения реакции нижний индуктор включается на трехфазный режим при пониженной частоте, вследствие чего металл из чаши засасывается в нижнюю часть тигля, где происходит его смешивание с основной массой расплава. Этот процесс может происходить как циклически, так и непрерывно.

Вращение металла в чаше обеспечивается за счет индуктора – линейного асинхронного двигателя кругового типа, установленного по периметру нижней кольцеобразной стенки чаши, и создающего бегущее по окружности магнитное поле. Питание индуктора осуществляется от трехфазного источника питания пониженной частоты. Система магнитопроводов обеспечивает прохождение магнитного потока обратного замыкания индуктора нагревателя и магнитного потока электромагнитного вращателя расплава, для чего пакеты магнитопроводов выполняются Г-образной формы. Дополнительно в верхней части под чашей эти пакеты соединяются перемычками из шихтованных пакетов электротехнической стали (ярем) на которых располагаются катушки обмотки электромагнитного вращателя. Количество этих катушек, количество магнитопроводов и количество секций индуктора нагревателя должно быть кратным трем для обеспечения возможности подключения трехфазного питания.

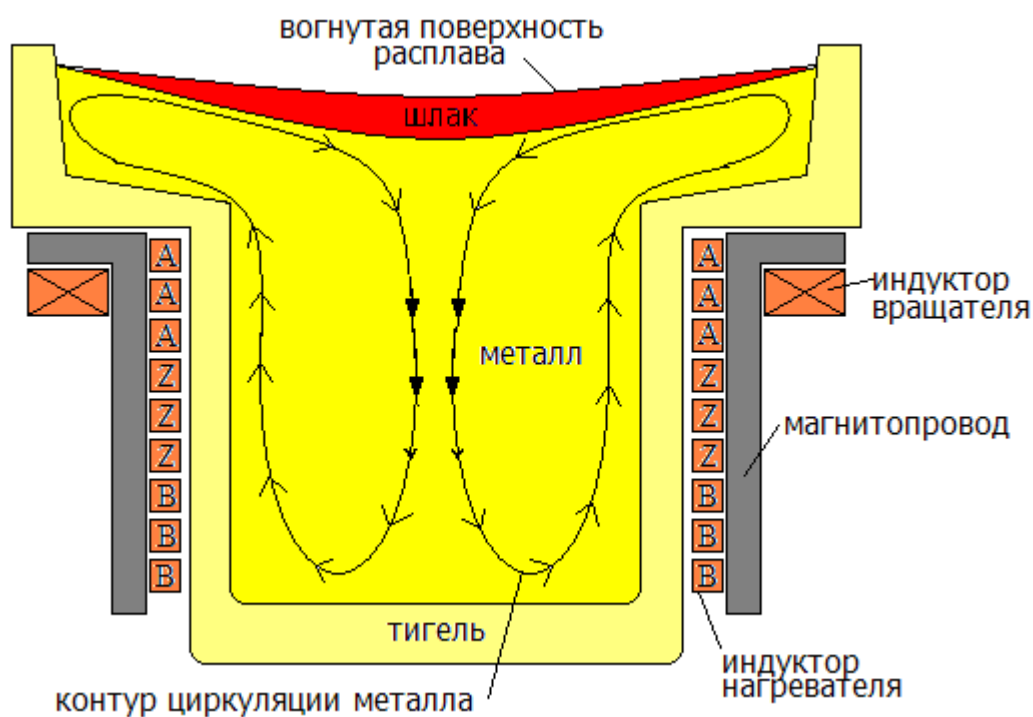


Рис. 4

В отличие от конструкции рис. 1 предложенный вариант имеет более развитую поверхность реакции, что должно привести к повышению скорости протекания химических реакций и металлургических процессов. Верхняя часть (чаша с

индуктором) может быть выполнена конструктивно независимо от тигельной части установки, что позволяет рассматривать ее как независимую установку, которой может быть дополнена стандартная ИТП, при этом магнитную систему следует выполнять также независимо. Конфигурация чаши может изменяться в зависимости от применяемой технологии, при этом конструкция тигельной части остается неизменной. В отличие от конструкции на рис. 1 интенсивное вращение расплава будет происходить только в верхней части расплава, что приведет к значительному снижению темпа размытия футеровки основного тигля. В отличие от конструкции рис. 1 количество полюсов электромагнитного вращателя может варьироваться путем переключения схемы обмотки, за счет чего можно добиться снижения или повышения скорости движения поля, а также изменять картину магнитных силовых линий поля. В отличие от конструкции рис.1 в предлагаемом варианте используется многофазное питание индуктора – нагревателя, что позволяет получить дополнительные аксиальные (осевые) усилия в металле для повышения эффективности перемешивания всего объема металла.

В отличие от конструкции рис. 2 в предлагаемом варианте отсутствует канальная единица, которая является самым уязвимым элементом футеровки с позиции ее стойкости к размыванию расплавом. В отличие от конструкции рис. 2 в предлагаемом варианте получается развитая поверхность с вращающимся движением для ускорения химических процессов и процессов теплопереноса.

В отличие от конструкции рис. 3 в предложенном варианте исключается образование мениска, а также упрощается процесс слива шлака и расплава. Устраняется необходимость регулярной прочистки каналов слива и канальной индукционной единицы.

Ввиду того, что масса металла, находящегося в чаше, значительно меньше полной массы всего расплава, нагрузка на стенки чаши значительно снижается и уменьшается эффект истирания и размывания футеровки расплавом, чего нельзя добиться в установках, где одинаково вращается вся масса выплавляемого металла.

Установка может быть герметизирована для использования специальных атмосфер, а также может быть оснащена дополнительными газовыми или плазменными горелками для расплавления или подогрева исходного сырья.

Выводы. Учитывая все приведенные аргументы, можно сделать заключение о том, что предложенный вариант турбоиндукционной плавильной установки является развитием направления индукционных плавильных установок с дополнительным силовым электромагнитным воздействием на расплав. Предложенная установка лишена ряда существенных недостатков, присущих рассмотренным выше аналогам. Предложенные системы электропитания индукторов нагревателя и вращателя позволяют получить значительно большее число вариантов организации движения расплава и, следовательно, реализовать большее число специальных металлургических процессов с получением сплавов с лучшими эксплуатационными показателями. Предложенная установка позволяет вести плавку мелкой шихты и шихты, содержащей большое количество оксидов, проводить операции восстановления и переработки металлургических отходов. Предложенная установка может служить основой для создания мини- и микрометаллургических предприятий и производств. Предложенная установка позволяет получать сплавы высокого качества и полуфабрикаты различного назначения.