

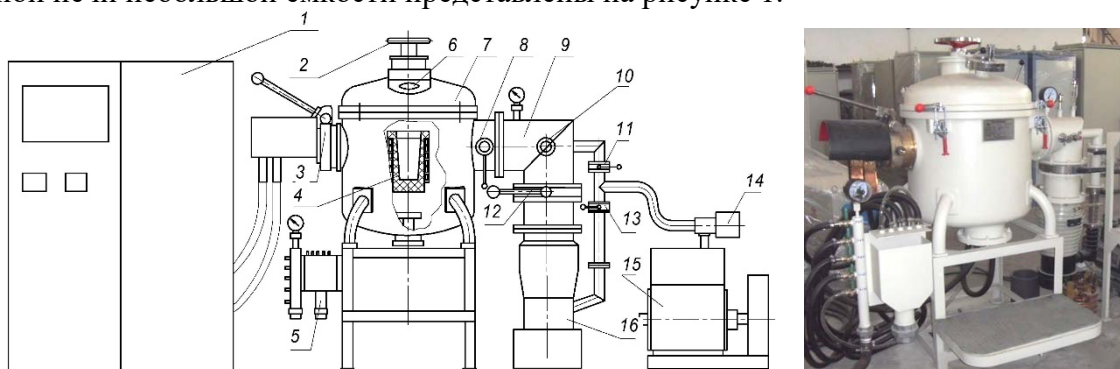
Конструкции современных вакуумных индукционных плавильных печей

Корнеев С.В.

Белорусский национальный технический университет

Многообразные конструкции вакуумных индукционных плавильных печей можно разделить на группы по конструктивным признакам, среди которых основными являются расположение индуктора относительно вакуумного пространства (с индуктором расположенным в вакуумном пространстве и вне вакуумного пространства), способ разлива сплава (с донным разливом и с разливом через носок), режим работы и конструкции загрузочных устройств и изложниц (периодического, полунепрерывного и непрерывного действия), возможность работать с избыточным давлением (вакуумно-компрессионные печи) и др.

Основные элементы наиболее простой по конструкции однокамерной вакуумной индукционной печи небольшой емкости представлены на рисунке 1.



1 – шкаф с источником питания индуктора и контрольной и измерительной аппаратурой; 2 – устройство для загрузки сплава; 3 – поворотная оправка; 4 – индуктор с установленным тиглем; 5 – выходы для подключения системы водяного охлаждения; 6 – смотровое окошко; 7 – крышка вакуумной камеры; 8 – органы управления устройством измерения температуры; 9 – вакуумный блок; 10 – клапан вентиляции; 11 – клапан предварительного насоса; 12 – главный клапан; 13 – вспомогательный клапан; 14 – клапан надува; 15 – двухступенчатый механический вакуумный насос; 16 – диффузионный насос

Рисунок 1 – Основные элементы однокамерной вакуумной индукционной печи малой емкости

Корпус плавильной камеры вакуумной печи представляет собой двустенную вертикальную емкость, между стенками которой протекает охлаждающая вода. Крышка камеры также имеет двойные стенки. Устройство для подачи сплава содержит специальный многосеточный питатель с заранее помещенными необходимыми сплавами (элементами) для добавления которых необходимо повернуть маховик на определенный угол. Индукционная катушка (индуктор) изготовлена из прямоугольной медной трубки. В катушке находится тигель. Катушка соединяется с входным и выходным подводами гайками. Вращающаяся оправка одновременно подводит ток и воду к индуктору. Точка входа концентрической оправки в корпус вакуумной печи герметизирована с помощью вакуумной резины, что обеспечивает возможность совместного вращения катушки и тигля с расплавленным металлом. Смотровое окно крышки состоит из кварцевых стекол и защитной заслонки. Устройство измерения температуры представляет собой рычажный механизм с установленной термопарой для ввода ее в тигель поворотом ручки. Также печь оснащается вакуумметрами для измерения низкого вакуума и высокого вакуума. Главный клапан предназначен для создания в камере печи высокого вакуума при помощи диффузионного насоса в сочетании с двухступенчатым механическим насосом.

Современные производители оснащают печи пневматическими системами, позволяющими автоматизировать основные операции и выполнять плавку по заранее заданным программам.

В настоящее время разработано и эксплуатируется значительное количество камерных индукционных вакуумных печей разнообразных конструкций:

VIM (однокамерная ВИП);

VIM-МС (movable mold chamber) – с передвижной камерой. Двухкамерная система с отдельной передвижной камерой-шлюзом для изложниц;

VIM-НМС / VIM-VMC – с отдельной горизонтальной или вертикальной камерой форм;

VIM-МТ – с модулем подготовки форм;

VIM-VCC – с вертикальным непрерывным литьем;

VIM-НСС – с горизонтальным непрерывным литьем;

VIM-ДС – с направленной кристаллизацией;

VIM-FC – с отливом пластин;

VIM-ВР (bottom purging) – с донной продувкой;

VIM-LS (launder system) – с лотковой системой. Используется сменный подогреваемый лоток для разлива расплава;

VIM-DD (double-door arrangement) – с двухдверной компоновкой;

VIM-Р – с режимом работы под избыточным давлением

VID (vacuum induction degassing) – вакуумная индукционная дегазация. Используется для плавления и дегазации специальных сталей и сплавов с разливкой в ковш или литейные формы.

VIDP (Vacuum Induction Degassing and Pouring) – печь вакуумной дегазации и разливки сплава под вакуумом (рисунок 2).

Установка VIDP включает источник электропитания, плавильную камеру, устройство для загрузки, разливочный желоб, разливочную камеру, вакуумные насосы, а также дополнительные устройства.



Рисунок 2 – Конструкция печи типа VIDP

Достоинства печей типа VIDP: компактная конструкция, меньшее потребление инертного газа при заполнении, более экономичная вакуумная система, меньшая высота и занимаемая площадь; минимизация или удаление нежелательных газов при утечках из гидравлической и системы охлаждения, дегазации тигля, десорбции с поверхности корпуса и т.д.; использование шлаковых затворов и керамических фильтров с разливочным желобом для повышения чистоты металла; расположенные снаружи механизмы наклона, разъемы для подключения подводов для снабжения энергией и рабочими средами облегчают доступ и уменьшают затраты на обслуживание.

Помимо выплавки специальных сталей и сплавов для узких областей применения имеется тенденция к расширению области применения вакуумных индукционных печей в машиностроении, металлургии и других отраслях. Большинство известных производителей индукционных вакуумных печей имеют близкие конструктивные решения для аналогичных областей применения печей. Отметим некоторые особенности технических решений печей для вакуумной плавки и дегазации.

Компания Consarc, входящая в группу Inductotherm (США) производит VIM емкостью от 1 до 10 тонн для выплавки лигатур для последующего прецизионного литья. Трехступенчатая вакуумная система обеспечивает достижение окончательного уровня вакуума до $1 \cdot 10^{-5}$ Па. Для

выплавки переплавляемых электродов имеются решения с емкостью тигля более 30 тонн. Печи VCAP (емкостью от 50 кг до 20 тонн) предназначены для индукционной плавки твердой шихты в воздушной атмосфере (или в вакууме) с конечной стадией дегазации под вакуумом. Окончательную заливку металла производят на воздухе или в защитной атмосфере инертного газа. Конфигурация основана на линейке индукционных печей Inductotherm, которые адаптированы компанией Consarc для вакуумной обработки жидкого металла.

Компания Otto Junker (Германия) предлагает две концепции вакуумных печей MFT Vac с индуктором в вакуумной среде (до 25 тонн по стали, вакуум $0,5 \dots 10^{-2}$ мбар, а по запросу до 10^{-4} мбар) и вне вакуумной среды (до 10 тонн по стали, вакуум 0,5-200 мбар) [2]. Преимущества первого варианта: закрытая конструкция (катушка внутри вакуума) позволяет работать при 10^{-2} мбар при плавке, легировании и обработке металла, а также разливке под вакуумом. Преимущества второго варианта: индукционные катушки с соединениями подвода мощности и охлаждающей воды находятся вне вакуумной среды, свободно доступны и находятся в открытой атмосфере; обеспечивается максимальная безопасность работы; предотвращается образование электрического тлеющего разряда и не требуется сложных вакуум-плотных оправок для подвода мощности и охлаждающей воды; ниже инвестиции и др.

Конструкция печи MFT Vac с индуктором вне вакуумной среды представлена на рисунке 3.

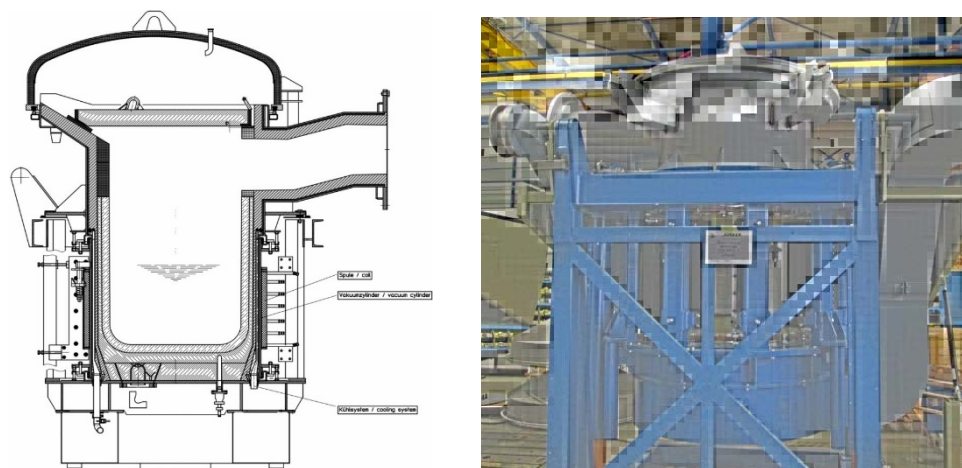


Рисунок 3 – Конструкция печи MFT Vac с индуктором вне вакуумной среды [2]

Компания ALD Vacuum Technologies (Германия) предлагает установки вакуумной индукционной дегазации VID емкостью до 30 тонн способные обеспечить функции одновременно двух агрегатов, широко применяемых в металлургии, таких как ковш-печь (LF) и установки вакуумной дегазации и вакуум кислородного обезуглероживания (VD/VOD).

Печи оснащаются продувкой расплава инертным газом (Ar). Стандартное рабочее давление составляет от 0,5 до 5 мбар. Компанией предлагается три варианта конструкции установок вакуумной дегазации: VID (разливка расплава в условиях окружающего воздуха), VID Pro (разливка расплава в условиях защитного газа), VID Oxy (подача кислорода и обработка шлака) [3]. Варианты конструкции печей представлены на рисунке 4.

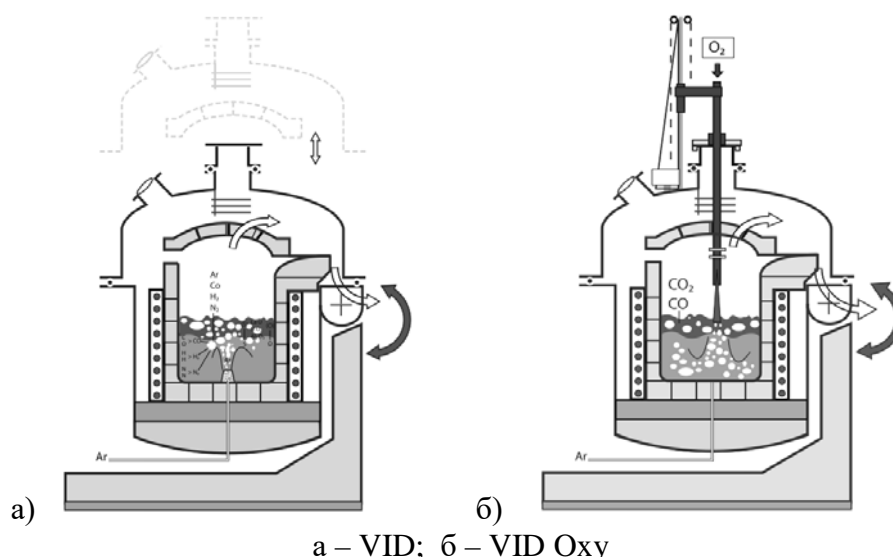


Рисунок 4 – Установка вакуумной индукционной дегазации с разливкой расплава в воздушной среде VID и установка вакуум-кислородного обезуглероживания VID Oxy [3]

Помимо рассмотренных конструкций установок на основе вакуумных индукционных плавильных печей существуют и другие специальные установки, имеющие в своем составе вакуумные индукционные печи, например, для получения порошков (процессы VIGA, EIGA, PIGA), вакуумной индукционной дистилляции VIDIST и некоторые другие.

Список использованных источников

1. Вакуумные индукционные плавильные печи // Электронный ресурс. URL: https://consarc.com/product_categories/vacuum-induction-melting-furnaces-vim/ (дата обращения: 10.02.2022)
2. Вакуумные индукционные печи // Электронный ресурс. URL: <https://www.otto-junker.com/en/products-technologies/furnaces-for-cast-iron-steel/vacuum-induction-furnaces> (дата обращения: 15.02.2022)
3. Установки вакуумной индукционной плавки и дегазации // Электронный ресурс. URL: <https://www.ald-vt.com/ru/portfolio/engineering/vacuum-metallurgy/vacuum-induction-degassing-furnace/> (дата обращения: 11.02.2022)