

European Commission  
**TEMPUS**

*It is shown that vacuum melting of metals and alloys in induction furnaces enables to reduce considerably the content of gases and quantity of nonmetallic impurities, to provide high uniformity and density of ingot.*

*А. Н. ФИЛИМОНЕНКО, БНТУ*

*Научный руководитель канд. техн. наук, доцент Н. Ф. НЕВАР, БНТУ*

УДК 634.377

## ВАКУУМНЫЕ ИНДУКЦИОННЫЕ ПЕЧИ, ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

### Введение

Термическая обработка в вакууме и методы вакуумной плавки в настоящее время достаточно широко применяются для создания материалов, получение которых другим способом достаточно проблематично. Плавка в вакууме позволяет предохранять расплавляемый металл от взаимодействия с окружающей средой. Вакуумирование правильного пространства позволяет значительно улучшить механические и литейные свойства высоколегированных сталей, специальных сплавов, которые из-за наличия легкоокисляемых элементов склонны к образованию значительного количества оксидных пленок. При вакуумной плавке концентрация примесей в жидком металле понижается за счет прохождения такого процесса, как, например, дегазация, если концентрация газов, растворенных в металле, зависит от давления окружающей среды.

### Краткое описание

Вакуумная печь для индукционной плавки – это система, включающая в себя герметичную камеру, в которой устанавливаются индукционная тигельная печь и в ряде случаев литейная форма. Следует отметить, что в последнее время в мировом литейном производстве отмечается тенденция получения высокотехнологичных легированных материалов. В такое производство в мировом масштабе инвестируется все больше капитальных вложений. Поэтому основополагающий процесс для большинства всех производителей высоколегированных сплавов – вакуумная индукционная плавка, которая особенно хорошо подходит для плавки и получения литья из железа, черных металлов, никеля, кобальта и их сплавов в вакууме и контролируемой атмосфере для удовлетворения требований промышленного производства.

Когда качество материала чрезвычайно важно, конструкция вакуумных печей для индукционной плавки и литья позволяет легко и быстро достигать необходимых результатов, обеспечивая заказчиков продукцией необходимого качества.

Применение: плавка и литье сплавов; направленное отверждение/ монокристаллическое литье; электродное литье; непрерывное литье.

Самые совершенные металлургические процессы в вакууме, такие, как дегазация стали, внепечная обработка, вакуумная переплавка, точное литье по выплавляемым моделям, в настоящее время позволяют получать высококачественные отливки как по составу материала, так и по качеству литья.

Однако всевозрастающий технологический уровень современного машиностроения выдвигает новые требования к вакуумному технологическому оборудованию. Сегодня вакуумная металлургия переходит на принципиально новый уровень создания технологических процессов, представляющих собой непрерывную цепочку переделов в среде вакуума, позволяющих, с одной стороны, получить принципиально новые изделия, с другой – значительно снизить издержки производства. Процессы вакуумного передела используются в металлургии вторичного передела для рафинирования металлов или получения сплавов особого химического состава, в жидком состоянии – при заданных температурах. Существует множество различных применений вакуумной техники для получения самых разнообразных материалов. Вакуумные технологии незаменимы для производства специальных сплавов, которые не могут быть получены вне вакуума или инертной атмосферы вследствие их высокой окисляемости. Контролируемая атмосфера ограничивает формирование оксидных неметаллических включений в расплаве.

Вакуумные печи обеспечивают эффективную дегазацию расплава и достаточно точный химический состав получаемых сплавов, поскольку температурные параметры расплава, давление внутри вакуумной камеры, перемешивание расплава и введение дополнительных легирующих элементов могут быть выполнены в условиях вакуума. Комбинация всех перечисленных выше способов воздействия на расплав создает уникальный инструмент для литейщика-исследователя. Обычно для проведения прецизионных процессов вакуумной плавки используют печь с индукционным нагревом. Преимущества вакуумной плавки с индукционным нагревом заключаются в следующем:

- Возможность длительной выдержки жидкого металла в глубоком вакууме.
- Высокая степень дегазации металлов.
- Возможность дозагрузки печи в процессе плавки, активного воздействия на интенсификацию процессов раскисления и рафинирования в любой момент плавки.
- Возможность эффективного контроля и регулирования состояния расплава по его температуре и химическому составу в течение всего процесса.
- Особая чистота получаемых отливок за счет отсутствия любых неметаллических включений.
- Возможность производить быстрый нагрев (прямой нагрев за счет тепла, выделяемого в расплаве), а следовательно, высокая скорость плавки и высокая производительность.
- Высокая гомогенность расплава за счет активного перемешивания металла.
- Произвольная форма сырья (кусковые материалы, брикеты, порошок и т. д.).
- Высокая экономичность и экологическая чистота.

В зависимости от типа металла и металлургического процесса глубина вакуума для процесса рафинирования возгонкой может находиться в диапазоне  $10^{-1}$ – $10^{-3}$  мбар.

Материалы, выплавленные в вакуумной индукционной печи (ВИП), должны пройти дополнительный переплав и (или) процесс направленной кристаллизации. Для этого ВИП снабжают дополнительными разливочными камерами. Для обеспечения еще более жестких требований материалы должны пройти несколько этапов рафинирования, как, например, в триплексном процессе переплава, состоящем из последовательных процессов индукционно-вакуумного переплава, электрошлакового переплава и дугового или лучевого вакуумного переплава.

В результате наблюдений установлено, что при выплавке трансформаторной стали в вакууме жид-

кий металл очищается от кислорода и серы при отсутствии шлака на поверхности металла. Раскислительная способность углерода при снижении давления в плавильном пространстве до 1 мм рт. ст. повышается почти в 100 раз.

Использование вакуума при выплавке трансформаторной стали обеспечивает возможность повышения содержания в ней кремния и снижения ваттных потерь на 20–25%.

Принцип работы печей (рис. 1) заключается в том, что в огнеупорном тигле, установленном в вакуумной камере, при помощи высокочастотного индуктора расплавляют твердую шихту (отходы специальной заготовки, чистые металлы и ферросплавы) и рафинируют жидкий металл; печи могут работать и на жидкой садке. Вакуум достигается откачиванием диффузионными насосами, обеспечивающими достаточно низкие остаточные давления (меньше 10 Па).

Для получения высококачественной стали в основном применяется вакуумная плавка. В слитке всегда содержатся газы и некоторое количество неметаллических включений. Их количество можно значительно уменьшить, если воспользоваться вакуумированием стали при ее выплавке и разливке. При этом способе жидкий металл подвергается выдержке (вакуумированию) в закрытой камере, из которой удаляют воздух и другие газы. Вакуумирование жидкого металла производится обычно в ковше перед разливкой по изложницам. Лучшие результаты получаются тогда, когда сталь после вакуумирования в ковше разливают по изложницам также в вакууме. Выплавка металла в вакууме осуществляется в закрытых индукционных печах (рис. 2).

При вакуумной плавке достигается значительное снижение содержания азота и водорода, растворимость которых в жидком железе пропорцио-

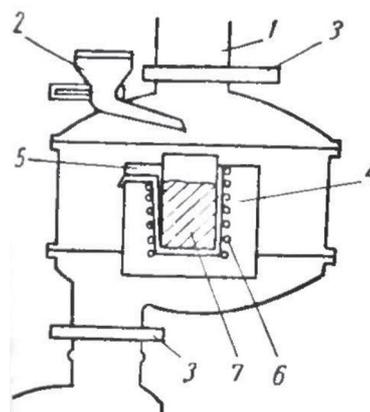


Рис. 1. Схема вакуумной индукционной печи: 1 – загрузочная камера; 2 – дозатор с подъемником; 3 – затвор; 4 – тигель; 5 – пивной носок; 6 – индуктор; 7 – металл

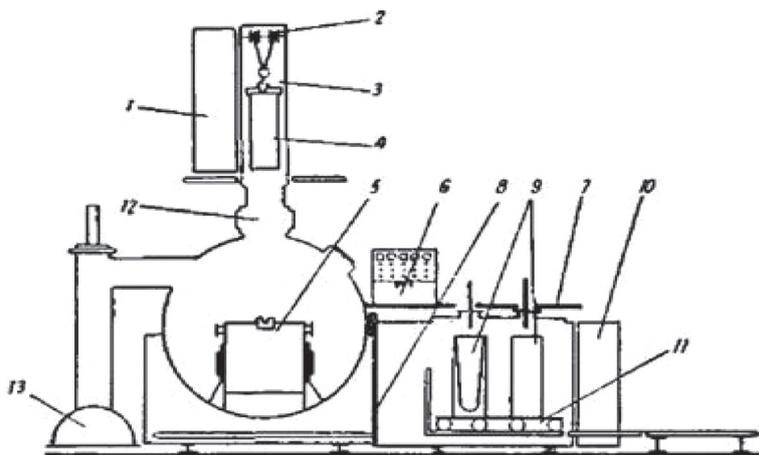


Рис. 2. Схема устройства индукционной вакуумной печи: 1 – дверь; 2 – подъемник; 3 – загрузочная камера; 4 – загрузочная корзина; 5 – индукционная печь; 6 – пульт управления; 7 – электроды; 8 – внутренняя дверь; 9 – изложницы; 10 – дверь; 11 – тележка; 12 – вакуумная задвижка; 13 – вакуумные насосы

нальна корню квадратному из их парциальных давлений. Также происходит испарение химических элементов из ванны, которое зависит от давления в камере печи, температуры металла, удельной поверхности контакта, длительности процесса плавки.

Методом вакуумной плавки можно получать заготовки из черных металлов, никеля, меди, молибдена для электровакуумной промышленности; пластичные сорта железа с малым содержанием углерода (армко, трансформаторные и др.), также железо с высокой магнитной проницаемостью; специальные стали и сплавы с пониженным содержанием водорода и азота; нихром; антикоррозион-

ные сплавы на никелевой основе; высокоэлектродную медь и ее сплавы; платину и платиновые металлы; тугоплавкие редкие металлы.

Вакуумные электропечи получили широкое распространение в связи с возникновением таких отраслей промышленности, как самолетостроение, атомная, ракетная и др. Вакуумная плавка металлов и сплавов в печах позволяет значительно снизить содержание газов и количество неметаллических включений, обеспечить высокую однородность и плотность слитка за счет направленной кристаллизации жидкого металла, значительно улучшить физико-механические свойства металла.