

Конструкция и компоненты оборудования для циркуляционного вакуумирования

Во вторичной металлургии технология циркуляционного вакуумирования (RH) утвердилась в роли доминирующей при массовом производстве высококачественной стали. В данной статье рассмотрена конструкция современных установок RH. Основное внимание уделено критическим параметрам при работе основных компонентов таких установок. Приведены различные концепции проектирования установок, отвечающих конкретным требованиям отдельных заказчиков и соответствующих местным условиям.

Конструкция вакуумной камеры

Конструкция камер для вакуумной обработки претерпела значительную эволюцию, что было вызвано необходимостью удовлетворения возрастающих требований к металлургическим характеристикам процесса и к сокращению его длительности. Когда в 1970-х годах начали применять в промышленном масштабе процесс RH для обезуглероживания стали, среднее содержание углерода после вакуумной обработки составляло 0,01 %, а длительность обработки значительно превышала 30 мин [1]. В настоящее время достигается содержание углерода менее 0,002 %, а длительность процесса обезуглероживания сократилась до 1 мин [2].

ум-камеры [3]. Поэтому вся внутренняя поверхность камеры должна быть футерована огнеупорным кирпичом. Однако футеровка погружных патрубков и нижней части камеры постепенно изнашивается, в результате чего возникает необходимость ее периодических ремонтов и замены (табл. 1).

Интенсивное образование СО в процессе обезуглероживания в вакууматоре вызывает сильное разбрызгивание стали внутри вакуум-камеры. В первые годы внедрения новой технологии в установках для вакуумной дегазации возникали серьезные проблемы, связанные с надежностью и обусловленные низкой стойкостью огнеупоров и образованием больших настывлей. Образование настывлей удалось эффективно уменьшить путем

Компонент	Срок службы	Примечания
Погружной патрубок	50–200 плавков и более	Промежуточное удаление настывлей и торкретирование после каждых трех-шести плавков
Нижняя камера	2–3 срока службы погружного патрубка	
Верхняя камера	> 1000 плавков	Ремонт критических участков
Устройство для выдачи горячего металла	> 4000 плавков	

Таблица 1. Срок службы компонентов установки RH

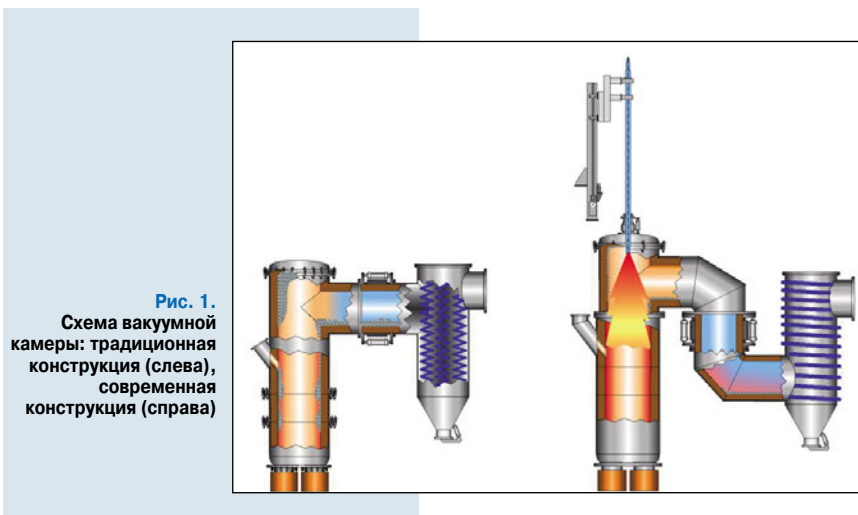


Рис. 1. Схема вакуумной камеры: традиционная конструкция (слева), современная конструкция (справа)

Райнер Бирман, начальник конструкторского отдела; докт. Райнер Теворт, ст. менеджер по вопросам технологии, фирма **SMS Mevac GmbH**, Эссен, Германия; Грэг Придэй, директор-распорядитель, фирма **SMS Mevac UK Limited**, Винсфорд, Чешир, Великобритания

Контакт: www.sms-mevac.com
E-mail: mail@sms-mevac.com

Возможности установки RH во многом зависят от возможностей вакуумной камеры. В отличие от ванны для дегазации, жидкая сталь в установке RH не остается в ковше, а рециркулирует через погружные патрубки ваку-

поддержания внутренней поверхности камеры в горячем состоянии. Это было наглядно продемонстрировано фирмой SMS Mevac, которая много лет назад предложила использовать криволинейные газоотводы (изогну-

тые в сторону погружных патрубков), выступающие в роли сифона для улавливания тепла между вакуум-камерой и устройством для охлаждения газа (рис. 1). Благодаря низкой плотности горячих газов внутри вакуум-камеры и высокой плотности охлажденных газов такая форма газоотвода обеспечивает теплопередачу путем конвекции к нижней камере. В то же время прямые тепловые потери с радиацией снижаются в трехколенчатой конструкции газоотвода между горячей вакуум-камерой и газоохладителем.

В начале промышленного освоения процесса RH вакуумная камера была разделена на несколько секций с помощью погружных патрубков, а нижняя и верхняя камеры были соединены водоохлаждаемыми фланцами. Принцип работы заключался в том, что эти камеры поочередно находились в рабочей или в резервной позиции. При горячем ремонте был ограничен доступ к установке, а ремонтные работы были очень опасными.

Конструкция современных установок RH предусматривает возможность быстрой замены всей камеры, а ремонтные работы в случае необходимости проводятся на отдельном стенде с холодной камерой, в более благоприятных условиях. Водоохлаждаемые фланцы, являвшиеся критическим звеном с точки зрения стойкости огнеупоров и часто служившие причиной преждевременных остановок для ремонта, в современных конструкциях или исключены (камеры блочного типа), или заменены фланцами с теплостойкими вакуумными уплотнениями. На современных установках погружные патрубки обычно присоединяют с помощью сварки, что повышает их надежность и экономичность.

Высота вакуум-камеры за прошедшие годы также увеличилась. Первоначально она составляла 5 м, а на современных вакуумных установках для обезуглероживания достигает максимальных значений 11–12 м. Однако существует единое мнение о том, что дальнейшее увеличение высоты не даст никаких преимуществ.

С включением фурмы для продувки кислородом сверху в состав установки RH форма горячего газоотвода была изменена. Предпочтительной является куполообразная форма, поскольку она облегчает замену футе-

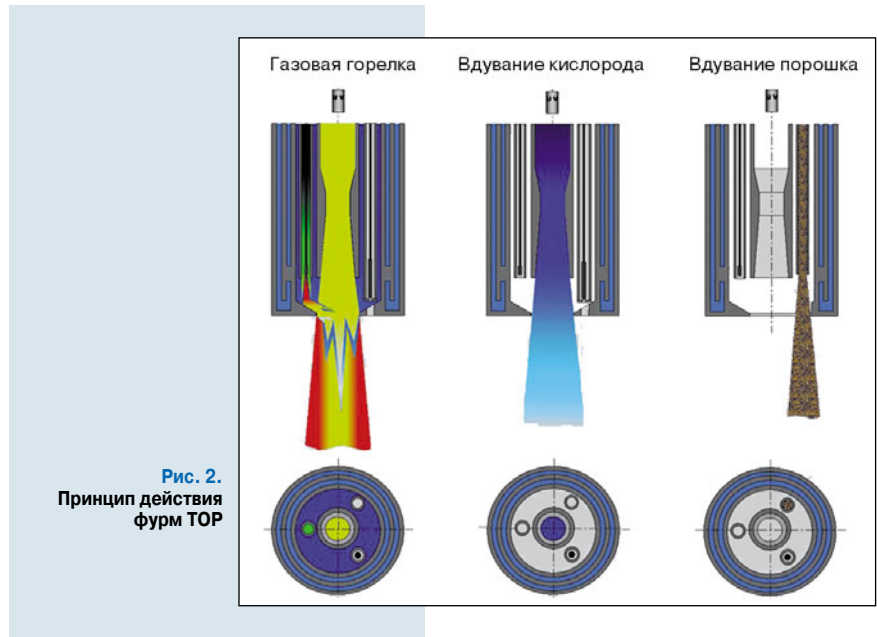


Рис. 2. Принцип действия фурм TOP

ровки и поддержание камеры в горячем состоянии при верхнем центральном расположении фурмы [5].

Установки с верхним расположением фурмы

Широкое распространение установок RH с верхним расположением фурмы относится к началу 1980-х годов. Первой была установка фурмы КТВ (Kawasaki Top Blow). Основная цель такого конструктивного исполнения — вдувание и разогрев кислорода для обезуглероживания стали, находящейся в вакуумной камере. Такая схема обеспечивает сталеплавильщикам большие преимущества с точки зрения производственной гибкости. После добавления таких функций, как нагрев газа и контроль хода процесса с помо-

щью видеокамеры, современные фурмы, подобные фурмам TOP, разработанным фирмой SMS Mevac, становятся многофункциональным технологическим инструментом (рис. 2). Короткие фурмы, эффективно вдувающие кислород с расстояния 5 м и более, применяют в случае ограниченного габарита по высоте. В некоторых случаях фурмы оборудованы также устройствами для вдувания порошка, применяемыми для десульфурации стали.

Системы вакуумных насосов

Для эффективной обработки стали по технологии RH необходимы вакуумные системы, обеспечивающие как быструю откачку, так и большую пропускную способность при давлениях

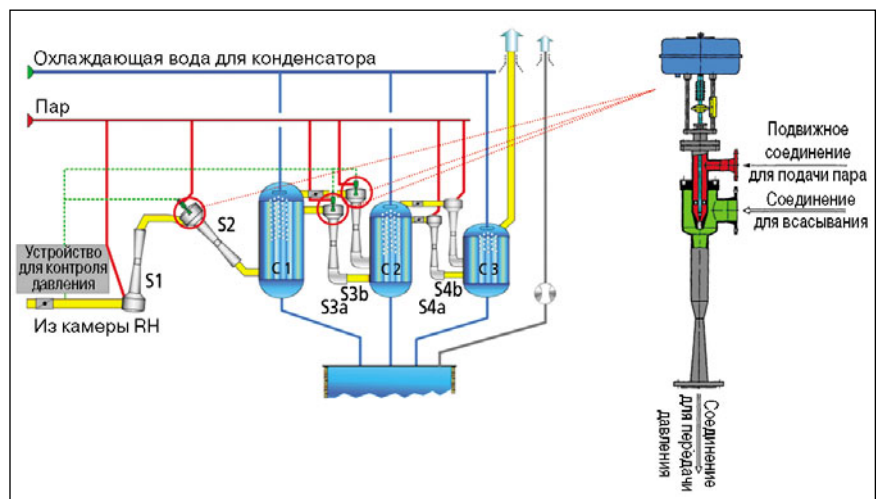


Рис. 3. Типовая конструкция регулируемого вакуумного насоса для установки RH-SC®

ниже 1 мбар. Типовая система вакуумных насосов представлена четырьмя последовательно расположенными ступенями, по меньшей мере тремя паровыми эжекторными насосами с промежуточными конденсаторами пара, размещенными между второй (S2) и третьей (S3) ступенями (рабочее давление около 60 мбар) и между третьей и четвертой (S4) ступенями (рабочее давление около 300 мбар) (рис. 3). Обычно два эжекторных насоса, действующих параллельно, устанавливаются на третьей ступени; при низком давлении один из них отключается. На четвертой ступени устанавливаются либо два параллельных паровых эжекторных насоса, либо, при ограниченных возможностях подачи пара, — несколько жидкостных насосов кольцевого типа. Механические вакуумные насосы, иногда применяемые на небольших установках для вакуумной дегазации в ваннах, не обладают достаточной всасывающей способностью, требуемой для реализации процесса RH.

По мере возрастания требований к сокращению длительности цикла обработки, всасывающая способность паровых эжекторных вакуумных насосов должна возрасти. Даже при современных конструкциях вакуумных камер бурление расплава в первые минуты процесса вакуумирования ограничивает практически достижимую скорость обезуглероживания. Для оптимизации процесса необходимо постепенно снижать давление в вакуумной камере. С этой целью преднамеренно подают воздух в систему. При правильном использовании этого метода можно так контролировать ход процесса, чтобы на любой его стадии бурление происходило в допустимых пределах. Однако при этом следует принимать во внимание такой недостаток, как неизбежные неточности при определении состава и расхода откачиваемого газа, связанные с натеканием воздуха.

Современные установки RH оборудованы регулируемыми вакуумными насосами. Автоматические игольчатые клапаны, встроенные в эжекторное паровое сопло Лаваля, позволяют в случае необходимости регулировать всасывающую способность насоса. В результате кривая понижения давления поддается непрерывному регулированию в зависимости от характе-

ра бурления стали в процессе обработки. Рабочие характеристики вакуумного насоса достаточно высоки, чтобы обеспечить скорейшее проведение обезуглероживания при любом давлении с учетом характера бурления. Благодаря этим мерам обезуглероживание проводится за короткое время, обеспечиваются надежные и воспроизводимые результаты металлургических процессов, достигается оптимальная производительность установки при минимальном образовании настывлей в вакуум-камере. Усовершенствованный вариант процесса RH получил название процесса RH-SC®.

Системы для внесения легирующих добавок под вакуумом

Количество легирующих добавок, вносимых в жидкую сталь в процессе циркуляционного вакуумирования, варьируется в широких пределах. Например, при выплавке особонизкоуглеродистых марок стали производят лишь небольшую корректировку состава стали в ковше. В то же время при выплавке кремнистых сталей может потребоваться добавление 4 % ферросилиция. Время, затрачиваемое на внесение легирующих добавок, должно быть как можно короче и не включать длительных операций взвешивания и транспортирования.

На рис. 4 показан достаточно сложный механизм, предназначенный для быстрого прямого внесения в сталь в больших количествах легирующих добавок, хранящихся в вакуумных бункерах, оборудованных весами (показаны зеленым цветом). Механизм также включает систему для быстрого внесения микролегирующих добавок, взвешиваемых при атмосферном давлении (бункеры для хранения этих добавок показаны на рисунке желтым цветом вместе с сопутствующими системами взвешивания и вибрационными подающими механизмами). Вакуумный шлюз с двумя верхними камерами обеспечивает возможность хранения в бункере и порционной подачи суточного запаса легирующих добавок. Вакуумный затвор и все бункеры связаны системой вращающихся вибрационных распределительных трубок (показаны на рисунке синим цветом).

Концепция установок RH

При выборе компоновочной схемы установки RH необходимо принимать во внимание следующие условия и требования:

- расположение цеха с установкой RH;
- выплавляемые марки стали;
- производительность, длительность цикла и число последовательно обрабатываемых плавок.

Расположение установки RH относительно грузопотоков цеха имеет большое значение для ее производительности. Расположение, которое позволяет заменять стелевозную тележку в период поднятия ковша для обработки, идеально подходит для случая, когда участок вакуумирования расположен между кислородным конвертером и разливочным пролетом. Концепция замены вакуум-камер зависит от возможностей кранового оборудования.

В большинстве случаев один из трех рассмотренных ниже вариантов планировки является подходящим для условий конкретного сталеплавильного цеха. Эти варианты предоставляют широкую возможность выбора в зависимости от планировки цеха и производственных условий.



Рис. 4. Система внесения легирующих под вакуумом с двухкамерным вакуумным шлюзом, двумя вакуумными бункерами и тремя бункерами для микролегирующих добавок

Однокамерная схема. Однокамерная установка RH имеет один стенд для обработки и одну вакуумную камеру. Используются подъемные устройства для камеры и ковша. Замена камеры может производиться с помощью мостового крана или подъемного устройства. Последний вариант особенно важен в случаях, когда расположение установки RH недоступно для обслуживания кранами. Замена камеры обычно производят в течение 60–90 мин.

Подъемное устройство для вакуум-камеры может быть выполнено в виде качающегося коромысла или лебедки. Рычажно-коромысловая схема, показанная на рис. 5, эксплуатируется достаточно успешно. Она обеспечивает отличный доступ кранов к платформе камеры и благодаря сбалансированности рычага посредством противовеса позволяет поднять камеру даже в случае отключения электроэнергии. Для ремонта погружных патрубков предусмотрена специальная тележка.

Альтернативой этому варианту подъема вакуум-камеры является вариант подъема ковша одним или несколькими гидравлическими цилиндрами.

Быстрая замена камеры. Концепция быстрой замены вакуум-камеры (так называемая «двояная RH-установка») характеризуется одним стендом для обработки и двумя вакуум-камерами, каждая из которых установлена на передаточной тележке (рис. 6). В соответствии с этой концепцией ковш для обработки поднимают с помощью одного гидравлического цилиндра, расположенного под ковшом.

Альтернативным вариантом является подъем ковша с помощью лебедки, что позволяет избежать необходимости установки гидравлической системы вблизи ковша. Другой опцией является использование поворотного устройства с двумя позициями для ковшей; такое устройство сокращает интервал времени между обработкой ковшей и обеспечивает повышенную гибкость в условиях большой загрузки кранов. По сравнению с однокамерной схемой такой вариант обеспечивает более быструю (менее 3 мин) замену камер и при необходимости может быть согласован с последовательностью подачи ковшей. Это особенно важно при ремонте погружных патрубков, когда ограничена воз-

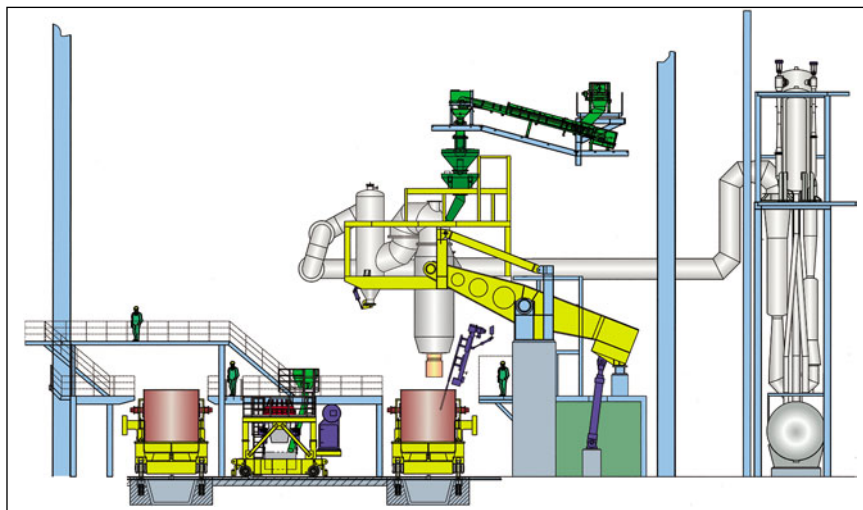


Рис. 5. Схема однокамерной 85-тонной установки RH с рычажно-коромысловой системой на заводе фирмы SeAH Besteel, Корея

можность использования однокамерной схемы. Продолжительность замены перефутерованной камеры не превышает 60–90 мин при работе установки RH по однокамерной схеме. Та-

кая продолжительность не является лимитирующим фактором и оставляет возможность нагрева вновь установленной камеры до оптимальной рабочей температуры. Ремонт погружного

Рис. 6. 260-тонная установка с устройством для быстрой замены вакуум-камеры (подъем ковша с помощью гидравлического цилиндра) на заводе фирмы Anshan Iron & Steel Corp., Китай

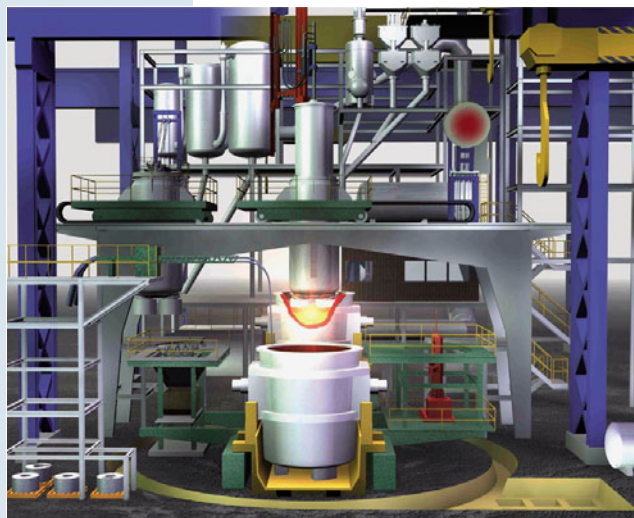
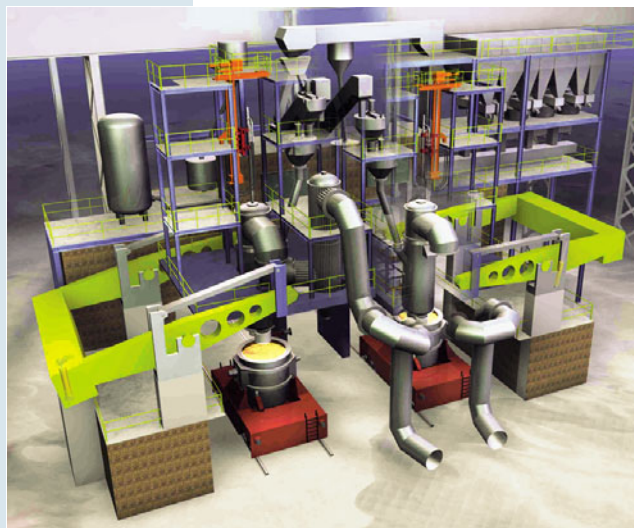


Рис. 7. 160-тонная сдвоенная установка RH на Нижнетагильском металлургическом комбинате, Россия



патрубка может быть проведен в рабочей позиции (с использованием ремонтной тележки или, при наличии поворотного устройства для ковшей, посредством ремонтного оборудования, установленного на этом устройстве). Ремонт погружного патрубка в резервной позиции требует дополнительного оборудования, но значительно повышает производительность установки.

Сдвоенная установка РН. Установка такого типа отличается наличием двух позиций обработки и либо двух установок РН однокамерного типа, либо двух установок РН с быстрой заменой камер, имеющих обычную систему внесения легирующих добавок и обычный вакуумный насос (рис. 7). В этом случае может параллельно производиться вакуумная обработка одной плавки (первая пози-

ция) и ремонт погружного патрубка или подготовка ковша (вторая позиция). Основным преимуществом такой схемы является исключение из цикла обработки времени транспортирования ковша, что позволяет добиться очень высокой производительности.

Выводы

Для успешной реализации процесса РН на металлургическом заводе должны быть выполнены два основных условия. Отдельные компоненты установки, такие, как вакуум-камера, вакуумный насос и система легирования, должны соответствовать требованиям металлургического процесса. Во-вторых, планировка установки РН должна соответствовать конкретным производственным условиям, таким,

как длительность цикла, последовательность обработки и производительность, а также позиция установки в схеме материальных потоков сталеплавильного цеха. После почти 50-летнего промышленного использования процесса РН он еще вполне удовлетворяет современным все более возрастающим требованиям. ■

Библиографический список

- [1] Maas, H.; Landt, W.; Hahn, F.-J.: Stahl und Eisen 99 (1979) No. 22, pp. 1221/1227
- [2] Ahrenhold, F. et al.: ABM Conference, Belo Horizonte, 2003
- [3] Tembergen, D.; Teworte, R.; Robey, R.; MPT International 30 (2007) No. 3
- [4] Hahn, F.-J.; Haastert, H.: Stahl und Eisen 113 (1993) No. 12, pp. 103/108
- [5] Messing, W.; Teworte, R.; Wiegmann, V.: Millennium Steel 2001