

УДК 669.1

Бигеев В.А., Кретова А.О., Баландина Т.А., Коптякова С.В., Слющников Д.С.

ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВЫ ВАКУУМНОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛИ В ЭСПЦ ПАО «ММК»

Аннотация. В работе рассмотрены основные способы вакуумирования стали, произведено сравнение вакуумных установок VD и RH. Произведен расчет производительности установки вакуумирования для ковша 180 т. Приведен обзор циклической работы вакууматоров различного типа, который показывает, что среднесуточная производительность RH установки выше установки VD на 5-10%. Рассмотрен способ повышения годовой производительности вакууматора путем установки двухпозиционной системы вакуумирования: две рабочие вакуумкамеры RH, две вакуум-камеры и общая вакуум-крышка для процесса VD.

Ключевые слова: вакуумирование стали, циркуляционное вакуумирование, двухпозиционная система вакуумирования, электросталеплавильный цех, высокоуглеродистая сталь.

Электросталеплавильный цех (ЭСПЦ) был создан в результате коренной реконструкции мартеновского цеха №1 в 2004-2008 годах. В его составе две дуговые электропечи ДСП-180, один двухванный сталеплавильный агрегат ДСА №32, три агрегата «ковш-печь», две сортовые пятиручьевые и одна двухручьевая слябовая МНЛЗ. Серьезным недостатком этого цеха, ограничивающим сортамент и качество производимой стали, является отсутствие агрегата вакуумирования стали в ковше. Для разрабатываемого проекта необходимо выбрать тип вакууматора.

Особенности вакуумирования. Основная задача процесса вакуумирования металла в ковше – по возможности максимальное удаление газов, прежде всего водорода и азота, из стали. Кроме того, здесь достигается особо низкое содержание углерода в металле, удаляются кислород и неметаллические включения [1-4].

Согласно исследованиям англичанина А.Сивертса, содержание водорода и азота, растворенного в жидком металле, определяется следующими уравнениями.

Переход водорода и азота из газовой фазы в металл и обратно можно представить как



Предложен коэффициент, связывающий содержание этих газов с их парциальным давлением.

$$k_{H;N} = \frac{[\%H;N]}{\sqrt{p_{H;N_2}}} \quad (2)$$

Отсюда

$$[\%H; N] = k_{H;N} \cdot \sqrt{p_{H;N_2}} \quad (3)$$

Наибольшее распространение в мировой практике получили способы ковшевого (VD) и циркуляционного (RH) вакуумирования. Изредка встречаются порционный (DH) и струйный способ [5-6].

Вакуумирование стали в ковше (VD) является наиболее простым и надежным способом

вакуумной обработки металла. Такой обработке подвергают как нераскисленную, так и раскисленную сталь. Для повышения эффективности вакуумирования применяют перемешивание расплава инертным газом через донные продувочные пробки сталеразливочного ковша, так как пузырьки аргона, барботирующие расплав, в значительной мере способствуют ускорению хода реакций обезуглероживания и дегазации. Кроме того, пневматическое перемешивание обеспечивает усиление взаимодействия высокоосновного рафинировочного шлака с металлом, что благоприятствует десульфурации стали и удалению азота. Таким образом, конечный результат в камерном вакууматоре достигается в ходе одной технологической стадии.

В состав камерной установки для вакуумирования стали в ковше входят вакуум-камера (чаще стационарная), накатная крышка, система дозирования и подачи сыпучих материалов, вакуум-провод, высокопроизводительные вакуумные насосы и АСУ ТП (рисунок 1).

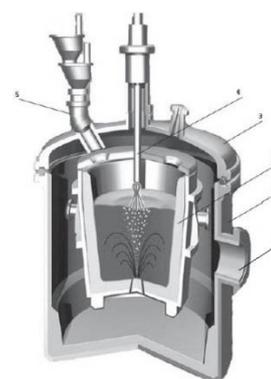


Рисунок 1 - Общая схема камерного вакууматора VD/VOD:

- 1 – сталеразливочный ковш; 2 – вакуумная камера; 3 – крышка вакуумной камеры; 4 – кислородная фурма; 5 – устройство для подачи сыпучих под вакуум; 6 – отвод газов

В корпусе вакуум-камеры, которая футерована огнеупорным кирпичом, имеется стенд для размещения сталеразливочного ковша. Корпус оборудован отверстием-мембраной с термодатчиком для аварийного слива стали, соединительным патрубком вакуум-провода, а также системой подачи азота при разгерметизации. Верхний торец вакуум-камеры имеет уплотнитель для обеспечения надежной герметизации. На рабочей площадке вакууматора устанавливают трайб-аппарат.

Крышка вакуум-камеры установлена на транспортной тележке и может вертикально перемещаться с помощью гидропривода. На крышке вакуум-камеры размещены следующие устройства: защитный тепловой экран с элементами подвода и отвода охлаждающей воды, система визуального контроля процесса вакуумной обработки, устройство отбора проб и измерения температуры, фурма для продувки стали кислородом (VD/VOD), шлюзовые устройства для ввода легирующих и других добавок.

Для проведения обработки сталеразливочный ковш с помощью мостового крана помещают в вакуум-камеру. Крышку вакууматора на тележке транспортируют к камере и устанавливают на ней. С помощью вакуумных насосов создают необходимое разрежение и проводят соответствующие технологические операции.

Циркуляционное вакуумирование (RH) впервые было успешно испытано в 1957 году немецкой компанией RUHRSTAHL HENRICHSHUTTE (позже вошла в состав THYSSENSTAHL AG) в городе Геттингем.

Конструктивное исполнение циркуляционного вакууматора может быть двух типов: с вертикальным перемещением вакуум-камеры или сталеразливочного ковша.

В состав установки RH входят (рис. 2): вакуум-камера с вакуум-проводом, вакуумные насосы, механизм перемещения вакуум-камеры (ковша), система дозирования и ввода добавок, а также АСУ ТП. Иногда вакуумную камеру устанавливают на транспортной тележке для перемещения между рабочим положением и позицией готовности к вакуумной обработке. Над сталеразливочным ковшом в рабочей позиции размещают манипуляторы для отбора проб и измерения температуры, а также трайб-аппарат. Корпус вакууматора — цилиндрический (объем до 300—350 м³) с двумя патрубками в нижней части. Внутренняя поверхность корпуса футерована специальным огнеупорным кирпичом. Циркуляционные патрубки имеют дополнительную футеровку с внешней стороны. Входной патрубок оснащен системой сопел для подачи инертного транспортирующего газа. Кроме того, вакуум-камера

имеет систему визуального контроля процесса вакуумной обработки и шлюзовые устройства для ввода добавок.

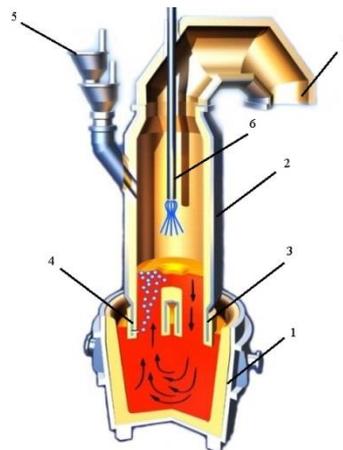


Рисунок 2 - Схема циркуляционного вакууматора RH – TOP:

- 1 – сталеразливочный ковш; 2 – вакуумная камера; 3 – входной патрубок; 4 – сливной патрубок; 5 – устройство для подачи сыпучих в вакуум; 6 – кислородная фурма; 7 – отвод газов

Широкое применение циркуляционных вакууматоров (типа RH - TOP) обусловлено возможностью более полного и быстрого обезуглероживания расплава стали, что выражается в сокращении продолжительности обработки (на 7—10 мин), уменьшении температурных потерь и достижении более низкой концентрации углерода в сравнении с VD/VOD. Кроме того, отсутствие интенсивного взаимодействия с рафинировочным шлаком сталеразливочного ковша оказывается полезным при выплавке особо чистых по содержанию углерода марок стали типа IF.

Сравнительная стоимость эксплуатации установок VD и RH. В планах реконструкции ЭСПЦ ПАО «ММК» решается дилемма выбора типа агрегата для вакуумирования стали в ковше. Поэтому были сделаны некоторые технико-экономические расчеты [7-9].

Расчет производительности установки вакуумирования. Принимая во внимание общий фонд рабочего времени в ЭСПЦ ПАО «ММК», цикличность работы и вынужденных простоев, теоретическую производительность вакууматора в сутки, рабочий цикл вакуумкамеры, количество циклов между заменами вакуумной камеры или ее частей, получены теоретические данные об эффективной производительности вакуумкамеры типа RH и VD для ковша вместимостью 180т (табл. 1).

Таблица 1

Сравнительная характеристика вакууматоров типа VD и RH

Параметр	RH	VD
Среднее время цикла, ч	0,97	1,03
Время вакуума (общее), ч	0,39	0,45
Среднее эффективное количество вакуумированных плавок в год	6300	6084
Среднее эффективное количество вакуумированной стали в год, т	1330560	1275120

Таблица 2

Теоретически максимальные объемы обработки стали вакуумом в 180- тонном ковше, т/год

Система	Однопозиционная	Двухпозиционная
RH	1774080	3548160
VD	1718640	3437280

Целесообразность использования двухпозиционной системы вакуумирования определяется возможностями плавильного, внепечного и транспортного оборудования цеха, а также наличием соответствующих площадей для размещения основного и вспомогательного оборудования.

Также следует принимать во внимание, что величина стартовых капиталовложений в RH вакуум-камеру превосходит стоимость камеры VD в два раза. При этом стоимость годового обслуживания камеры VD типа ниже в десятки раз.

Сравнение эксплуатационных затрат на вакуумирование. RH вакууматор требует как минимум на 50% более производительную вакуумную станцию, что и определяет повышенное по сравнению с VD установкой потребление рабочего пара. Также из-за технологических особенностей RH процесс потребляет в 100 раз большее количество транспортирующего газа – аргона, чем требуется для эффективного перемешивания металла в ковше.

При эксплуатации парожетторного насоса средняя оценочная стоимость вакуумирования тонны металла на вакууматоре составляет 3,5-4,5 доллара и 1,5-2 доллара на вакууматоре VD.

При этом в рамках первичного анализа произведен учет расхода только непосредственно во время цикла вакуумирования. При эксплуатации RH установки надо учитывать расходы на замену, прогрев футеровки и стоимость работ по обслуживанию комплекса вспомогательного оборудования вакуум-камеры RH.

Результаты расчета потребления энергосред при использовании вакуумных механических насосов на процессе VD показывают, что, обладая в 3-3,5 раза более высокой ценой по сравнению с парожетторными насосами, механические вакуумные насосы имеют в 8-9 раз более низкую стоимостью эксплуатации. Средняя оценочная стоимость вакуумирования при эксплуатации механически насосов составляет 0,25-0,4 доллара за тонну.

Приведенный обзор цикличной работы вакууматоров различного типа показывает, что среднесуточная производительность RH установки выше установки VD на 5-10%. Таким образом, вакуумирование по методу RH обеспечит большую производительность цеха за серию. Длительность серии ограничена стойкостью футеровки вакуум-камеры и в среднем не превышает 100 плавок.

Однако коэффициент готовности установки RH ниже установки VD на 15-19% в следствие простоя вакууматора RH на время обслуживания и ремонта вакуумкамеры. В этом случае годовая производительность вакууматора камерного типа оказывается выше циркуляционного вакууматора на 12%.

Коэффициент готовности вакууматора RH может быть доведен до значений, равных вакууматору VD, путем установки резервной «горячей» вакуум-камеры, что позволит исключить простои. Такой промежуточный вариант исполнения установки вакуумирования автоматически повышает годовую производительность RH вакууматора на 12%. При этом годовая производительность однопозиционного вакууматора VD окажется ниже не более чем на 7-9% (см. таб.1).

Вторым способом повысить годовую производительность вакууматора является возможность установки двухпозиционной системы вакуумирования: две рабочие вакуум-камеры RH, две вакуум-камеры и общая вакуум-крышка для процесса VD. При этом возможность обработки металла под вакуумом повышается практически в два раза для обоих методов.

Ниже в таблице 2 представлены теоретически максимальные объемы обработки стали вакуумом в 180 тонном ковше на обоих установках работающих в описанных выше режимах.

Расположение вакууматоров в цехе. Схема компоновки вакуумных агрегатов в сталеплавильном цехе определяется прежде всего объемом и сортаментом вакуумируемой стали, химическим составом жидкого полупродукта, необходимостью выполнения ряда других технологических операций по маршруту внепечной обработки, а также возможностью размещения того или иного типа оборудования. Так, например, с учетом ограничений в производственных площадях при реконструкции цеха установить камерный вакууматор проще, чем циркуляционный. При этом для обеспечения высокой производительности и снижения капитальных затрат возможны следующие варианты компоновки оборудования с одной системой вакуумных насосов:

- однокамерный вакууматор;
- двухкамерный вакууматор с одной крышкой;
- двухкамерный вакууматор с двумя крышками.

Ковшевая металлургия не должна стать «узким местом» в производственной цепочке при поточном вакуумировании, поэтому, например, в новых конвертерных цехах, где продолжительность цикла плавки не превышает 25—35 мин, предпочтение отдают циркуляционному вакууматору или сдвоенному циркуляционному вакууматору с одной системой вакуумных насосов. Возможны и другие варианты. Например, в ЭСПЦ на Белорусском металлургическом заводе с одной системой вакуумных насосов успешно работают камерный и циркуляционный агрегаты с шибберным переключением.

Необходимо отметить, что производительность однокамерной установки VD почти вдвое ниже установки RH, но она на 50 % дешевле. При этом производительность двухкамерного вакууматора VD и вакууматора RH примерно одинакова. Двухкамерная установка VD с одной крышкой дороже установки RH на 20 %, а с двумя крышками — на 40 %. При более продолжительном цикле обезуглероживания процесс VD/VOD является простым и надежным способом вакуумной обработки металла. Оборудование камерного вакууматора не контактирует со сталью, не требует специальных огнеупоров для футеровки камер, на их стойкость не влияет периодичность применения, что особенно важно при возможных простоях оборудования. Около 65 % построенных с 1990 г. вакууматоров являются камерными. При этом на установке ковшевого вакуумирования необходимо иметь свободный борт сталеразливочного ковша высотой до 600 мм, а в отдельных случаях — до 1000 мм вследствие возможного подъема уровня расплава в ходе вакуумирования.

Агрегаты RH получили развитие, и их успешно эксплуатируют на крупных предприятиях, имеющих плавильные агрегаты большой емкости и

высокой производительности. Вероятно, это связано с возможностью стабилизации в узких пределах технологических параметров при производстве стали массового сортамента, что позволяет жестко регламентировать, например, высоту налива стали в ковше и толщину шлака (табл. 3).

Комплексный анализ всех аспектов вакуумной обработки расплава показывает, что более высокая скорость процесса обезуглероживания в агрегате RH способствует предпочтительному его применению при производстве стали IF со сверхнизким содержанием углерода (менее 30 ppm) и позволяет завершить цикл обработки в течение от 26 (ThyssenKrupp Stahl, 265 т) до 35 мин (ЕКО Stahl, 240 т).

Таблица 3

Общие рекомендации по выбору типа вакууматора

Класс стали	RH/RH-TOP	VD/VOD
Особо низкоуглеродистая типа IF	+	±
Горячекатаная листовая	+	+
Электротехническая	+	—
Низкоуглеродистая	+	+
Среднеуглеродистая	+	+
Высокоуглеродистая	+	+
Высоколегированная	—	+
Коррозионно-стойкая	+	+

Вместе с тем на производительность агрегата RH существенно влияет продолжительность технического обслуживания. Как правило, при производстве стали IF со сверхнизким содержанием углерода после последовательной обработки шести плавков погружные патрубки вакууматора нуждаются в чистке настывлей, торкретировании огнеупорной массой, контроле состояния фурм для ввода аргона и пр. В зависимости от физико-химических свойств ковшевого шлака и технологических параметров обработки, а также применяемого оборудования такое обслуживание занимает от 20 до 60 мин. После обработки 60 - 150 плавков погружные патрубки нуждаются в замене. После каждых двух-трех кампаний погружных патрубков требуется замена вакуум-камеры из-за износа огнеупорной кладки ее нижней части. Вследствие этого на передовых металлургических заводах Германии средний годовой цикл вакуумирования стали в агрегате RH составляет от 53 (ThyssenKruppStahl, 2 640 000 т/год) до 70 мин (ЕКО Stahl, 1 800 000 т/год).

Кроме того, данному способу присущи

повышенные удельные затраты на обработку и содержание, связанные, например, с расходом огнеупоров, энергоносителей для подогрева камеры, значительным снижением температуры металла в ходе вакуумирования и пр.

В настоящее время на мировом рынке растёт спрос на плоский прокат высококачественной низкоуглеродистой стали. В связи с этим в ПАО «ММК» проведена коренная реконструкция листопрокатного цеха (ЛПЦ) № 4, находящегося в одной логистической и технологической цепи с ЭСПЦ. Все это, на наш взгляд, является решающим аргументом в пользу выбора вакуумирования стали в агрегате типа RH.

Список литературы

1. Внепечное вакуумирование стали /Морозов А.Н.,Стрекаловский М.М., Чернов Г.И., Кацнельсон Я.Е. М.: Metallurgia, 1974 288 с.
2. Кнюппель Г. Раскисление и вакуумная обработка стали М. Metallurgia, 1984. 416 с.
3. Metallургические технологии в высокопроизводительном электросталеплавильном цехе: учеб. пособие / В.А. Бигеев, А.М. Столяров, А.Х. Валиахметов. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2014. 308 с.
4. В.В. Пивцаев, В.В. Эндерс, М.П. Гуляев Сравнительная эффективность дегазации стали при вакуумировании на установках RH и VD // Сборник научных трудов специалистов Белорусского металлургического завода. / Минск: Технология, 2009. 360 с.
5. Смирнов А.Н., Сафонов Б.М. Вакуумирование стали: технологии и оборудование // Электрометаллургия.-2008.С. 8-14.
6. Вакуумирование стали процессом RH на Магнитогорском металлургическом комбинате /Бодяев Ю.А., Бурмистрова Е.В., Овсянников В.Г., Носов А.Д., Самойлин С.А. //Черная металлургия. Бюл. НТИ. 2003, С. 48-52.
7. Совершенствование управления инновационным развитием производства предприятий России: монография /Н.Т. Баскакова, Д.Б. Симаков, Т.К. Арапова, Т.А. Баландина, З.В. Якобсон. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2014. 163 с.
8. В.Э. Абдульманов, Т.А. Баландина Особенности проведения предпроектной стадии при внедрении автоматизированных систем управления на промышленных предприятиях // Сборник научных трудов. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2017. С. 63-69.
9. Костина Н.Н., Коптякова С.В., Зиновьева Е.Г. Теория нечётких множеств как метод управления интеграционными рисками на предприятиях чёрной металлургии // Менеджмент в России и за рубежом. 2019. № 2.С. 71–81.

Сведения об авторах

БигеевВахитАбдрашитович – д-р техн.наук, профессор кафедры МиХТ, «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: v.bigeev11@yandex.ru

Кретьова Анна Олеговна – аспирант кафедры МиХТ, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Магнитогорск, Россия. E-mail: anukretova@yandex.ru.

Баландина Татьяна Александровна – канд. экон. наук доцент кафедры менеджмента, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Магнитогорск, Россия. E-mail: balandina.ta@mmk.ru.

Коптякова Светлана Владимировна – канд. пед. наук, доцент кафедры государственного и муниципального управления и управления персоналом, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Магнитогорск, Россия. E-mail: Svetlana.cop@yandex.ru.

Слющенков Денис Сергеевич – магистрант кафедры МиХТ, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Магнитогорск, Россия.

EVALUATION OF THE PROSPECTS FOR VACUUM PROCESSING OF STEEL IN THE EOF SHOP (PJSC «ММК»)

Bigeev Vakhit Abdrashitovich – D.Sc (Eng), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation. E-mail: v.bigeev11@yandex.ru

Kretova Anna Olegovna – graduate student, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation. E-mail: anyakretova@yandex.ru.

Balandina Tatiana Alexandrovna–Ph.D. (Economics), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation. E-mail: balandina.ta@mmk.ru.

Koptyakova Svetlana Vladimirovna – Assistant Professor Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation, E-mail: Svetlana.cop@yandex.ru.

Slyuschenkov Denis Sergeevich – master's degree student, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation.

***Abstract.** The main methods of steel vacuuming are considered in the work and vacuum units VD and RH are compared. The calculation performance of vacuum systems for 180-ton ladle is done. An overview of the cyclical operation of various types of vacuum tanks, which shows that the average daily capacity of the RH installation above the VD installation is 5-10% reduced. A method for increasing the annual productivity of a vacuum cleaner by installing a two-position evacuation system is considered: two working vacuum chamber RH and two vacuum chamber and a common vacuum cover for the VD process.*

***Keywords:** steel degassing, circulation_degassing, high_carbon_steel, two-stage vacuum system, EOF shop.*

Ссылка на статью

Бигеев В.А., Кретова А.О., Баландина Т.А., Коптякова С.В., Слощенко Д.С. Оценка перспективы вакуумной обработки стали в ЭСПЦ ПАО «ММК» // Теория и технология металлургического производства. 2019. №2(29). С. 23-28.

Bigeev V.A., Kretova A.O., Balandina T.A., Koptyakova S.S.

Evaluation of the prospects for vacuum processing of steel in the EOF shop (PJSC «ММК»). *Teoria i tehnologiya metallurgicheskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2019, vol. 29, no. 2, pp.23-28.