УДК 662:666.9

В.И. Борш, директор по производству,
Р.М. Титей, ведущий инженер-технолог,
ООО «Азия Цемент», Россия

Опыт эксплуатации новой горелки на заводе ООО «Азия Цемент»

***РЕФЕРАТ.* Описан опыт эксплуатации горелки M.A.S./2/KO.EG.SO.X (производитель — фирма Unitherm Cemcon, Австрия) на заводе ООО «Азия Цемент». Конструкция горелок типа M.A.S. дает возможность регулировать форму факела, измененяя угол и скорость выхода природного газа из гибких металлических шлангов на обрезе горелки. Кроме того, ускоряется нагрев газового топлива до его перемешивания с вторичным воздухом и обеспечивается безопасность горения факела без отрыва пламени во время розжига и нагрева печи. Установка горелки M.A.S. взамен существовавшей горелки позволила снизить расход газообразного топлива и электроэнергии, а также повысить надежность работы воздуходувки.**

Ключевые слова: *вращающаяся печь, печная горелка, факел, природный газ.*
Keywords: *rotary kiln, kiln burner, flame, gaseous fuel.*

Введение

Завод ООО «Азия Цемент», расположенный в с. Усть-Инза Никольского р-на Пензенской обл., выпускает цемент по сухому способу. Проектная мощность предприятия — 5000 т/сут по клинкеру и 1 860 000 т/год по цементу. В октябре 2013 года состоялся розжиг печной горелки, и 27 ноября 2013 года выпущена первая тонна цемента. В качестве топлива для обжига клинкера используется 100 %-й природный газ.

Вращающаяся печь размерами ∅ 4,8×72 м с трехступенчатым двухветвевым циклонным теплообменником, декарбонизатором и колосниковым холодильником (все оборудование — от китайской компании) имеет производительность 208 т/ч.

Первоначально на завод была поставлена печная горелка европейского производства тепловой мощностью 101 МВт для сжигания природного газа и угольной пыли. В ходе эксплуатации главной горелки (с октября 2013 до апреля 2017 года) выявлены следующие проблемы:

- каждые 3 месяца прогорало сопло центрального воздуха горелки печи, а зимой 2016—2017 годов оно полностью разрушилось. Сопло несколько раз заменяли аналогичными соплами, изготовленными с применением стали 20Х23Н18, но это не улучшило ситуацию;
- деформировался наружный кожух горелки, через который подается аксиальный компонент потока первичного воздуха, что не позволяло отрегулировать форму факела путем изменения параметров работы горелки;
- из-за недостаточного охлаждения «рубашки» горелки была повреждена бетонная футеровка в ее передней части;
- по рекомендациям поставщика первой горелки, для формирования устойчивого факела необходимо было поддерживать давление первичного воздуха около 200 мбар. Это обеспечивалось при помощи воздуходувки типа «Рутс», работавшей при максимальных скоростях вращения роторов, что приводило к преждевременному износу и частым аварийным остановкам воздуходувки;
- с момента пуска горелки не работал детектор пламени на ее запальнике. Сам запальник запускался только в ручном режиме и горел не более 120 с.

В апреле 2017 года взамен прежней установили горелку Unitherm M.A.S./2/KO.EG.SO.X (M.A.S., рис. 1), рассчитанную на номинальный расход природного газа 9000 нм^3/ч* при его давлении в горелке 1 бар. Для обеспечения безопасной эксплуатации горелки были дополнительно приобретены расположенный внутри нее детектор пламени и запальник.

Конструктивные особенности горелки Unitherm M.A.S.

Основное преимущество новой горелки M.A.S./2 состоит в том, что форма факела регулируется путем изменения угла и скорости выхода природного газа из гибких металлических шлангов на ее обрезе (рис. 2) при постоянном давлении газа в ней. Примерно 2—5 % газа подается в горелку через центральный канал (для стабилизации факела), а основная часть — через систему гибких шлангов. Первичный воздух низкого давления использует-

* нм^3 — нормальный кубический метр (внесистемная единица).

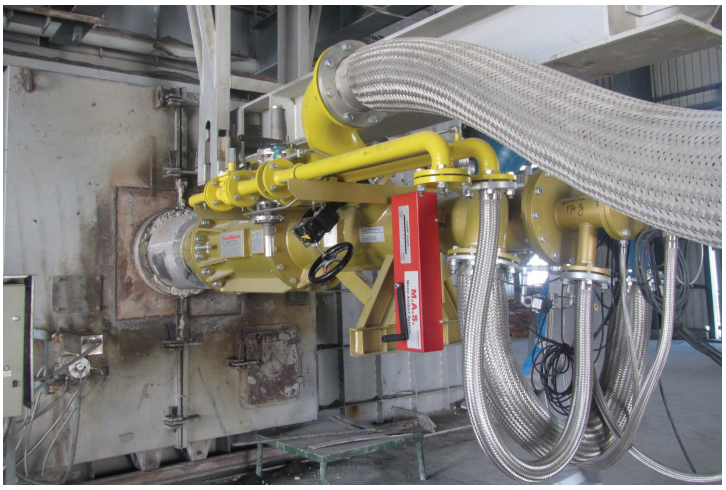

Рис. 1. Новая горелка M.A.S. перед пуском

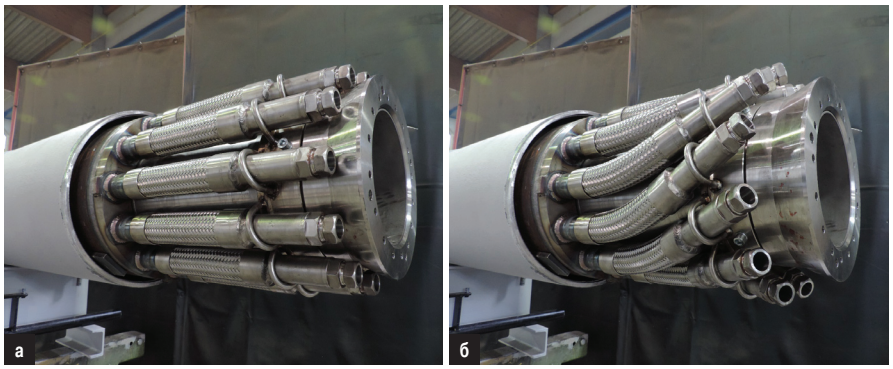

Рис. 2. Положение газовых шлангов для формирования длинного (а) и короткого факела (б)

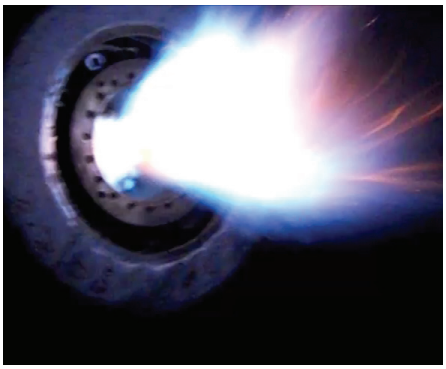

Рис. 4. Сопловая часть горелки при работе термокарбулизатора без подачи основного газа

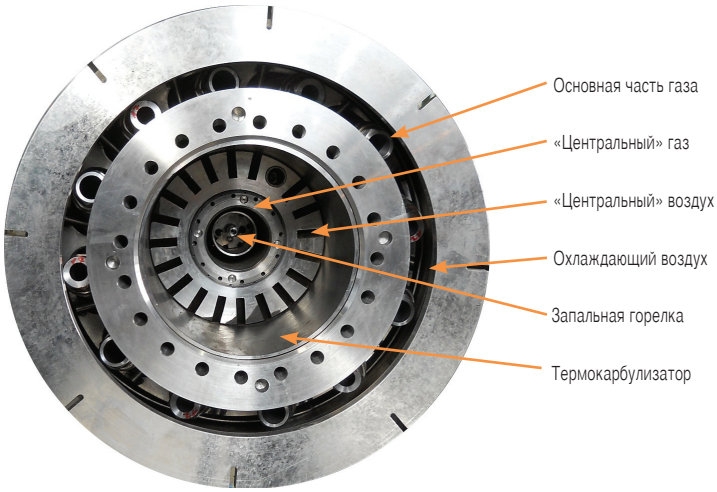

Рис. 3. Сопловая часть горелки

ся для охлаждения горелки печи. Скорость потока природного газа на выходе из сопел существенно выше, чем потока первичного воздуха. Это позволяет эффективно управлять формой пламени, изменяя параметры потока газа, а не первичного воздуха.

Установленная на ООО «Азия Цемент» горелка M.A.S. рассчитана на сжигание 100 % газа без установки дополнительных каналов для сжигания твердого или альтернативного топлива.

Горелка состоит из шести концентрически расположенных гибких труб. Эти трубы формируют герметичный канал для газообразного топлива, из которого оно подается в шланги; кольцеобразные каналы для первичного/охлаждающего воздуха и «центрального» воздуха; а также центральный канал газа для его подачи в термический карбонизатор, или термокарбулизатор (рис. 3). Особенностями конструкции горелок типа M.A.S. обусловлено следующее:

1) бесступенчатая настройка степени закрутки струй природного газа путем изменения изгиба шлангов и, как следствие, угла струй на выходе из них по отношению к оси горелки (в пределах 0—40°) позволяет непосредственно регулировать форму факела, чтобы оптимизировать обжиг клинкера в печи. Струйный выход природного газа из гибких шлангов интенсифицирует смешение природного газа с воздухом и продуктами горения газа. Рабочее давление газа при его номинальном расходе выше критического*, равного 0,75 бар. При сверхкритических давлениях скорость истечения газа (408 м/с) с изменением давления остается постоянной, но изменяется плотность газа на срезе шлангов;

2) благодаря наличию термокарбулизатора, который встроен в центральный канал горелки, ускоряется нагрев газового топлива до его перемешивания с вторичным воздухом и обеспечивается безопасность горения факела без отрыва пламени во время розжига и нагрева печи. Отдельная подача природного газа и воздуха для горения позволяет обеспечить их стехиометрическое соотношение в термокарбулизаторе.

В термокарбулизаторе около 2—5 % общего количества подаваемого в горелку газа смешивается с воздухом низкого давления и воспламеняется. Этим эффективно стабилизируется факел, так как точка воспламенения находится не в пространстве печи, а внутри термокарбулизатора (рис. 4). Кроме того, пламенем термокарбулизатора поджигается основной поток газа вблизи сопел горелки при недостатке кислорода, что приводит к его нагреву выше 1000 °С. В таких условиях свечение факела становится более интенсивным и, таким образом, увеличивается количество тепла, передаваемого клинкеру путем излучения.

Как известно, недостатком использования природного газа во вращающихся печах является более низкое, чем при сжигании пылеугольного топлива, излучение от факела. Вследствие этого появляется удлиненная «зона охлаждения», что приводит к снижению стабильности работы печи и относительному ухудшению качества клинкера. Границы зон печи до и после установки горелки M.A.S. указаны в табл. 1. На рис. 5 видно положительное влияние повышения стабильности факела на распределение температур корпуса печи в зоне обжига (за счет образования в ней стабильной обмазки) и верхней переходной зоне после установки горелки M.A.S.

Зачастую поставщики горелочного оборудования рекомендуют устанавливать горелку, ориентируя ее вдоль оси печи независимо от вида используемого топлива, геометрии головки печи, состава сырьевой муки и др. При установке горелки M.A.S. на заводе ООО «Азия Цемент» ее головку задвинули на 200 мм от обреза внутрь печи, сместив на 150 мм вниз от оси печи и на 65 мм в сторону материала. Это соответствует рекомендации фирмы Unitherm для случаев использования легко воспламеняющихся видов топлива (в том числе газообразного), в соответствии с которой располагать горелку следует горизонтально.

Результаты работы новой горелки

Установка горелки M.A.S. привела к следующему:

1) снизился расход природного газа (на 1 нм^3 на тонну обжигаемого клинкера). В первую очередь экономия достигнута за счет стабилизации обжига и снижения расхода первичного воздуха. Годовая экономия составит $1 \cdot 5000 \cdot 310 \approx 1\,500\,000$ нм^3 (что соответствует объему природного газа, необходимому для работы вращающейся печи в течение 3 сут);

2) увеличилась надежность работы воздуходувки типа «Рутс» и снизилось потребление ею электроэнергии (на 0,19 кВт·ч на тонну клинкера).

* Здесь критическое давление — давление газа в точке, где скорость равна местной скорости звука (в терминологии ГОСТ 23281—78 «Аэродинамика летательных аппаратов. Термины, определения и буквенные обозначения»).

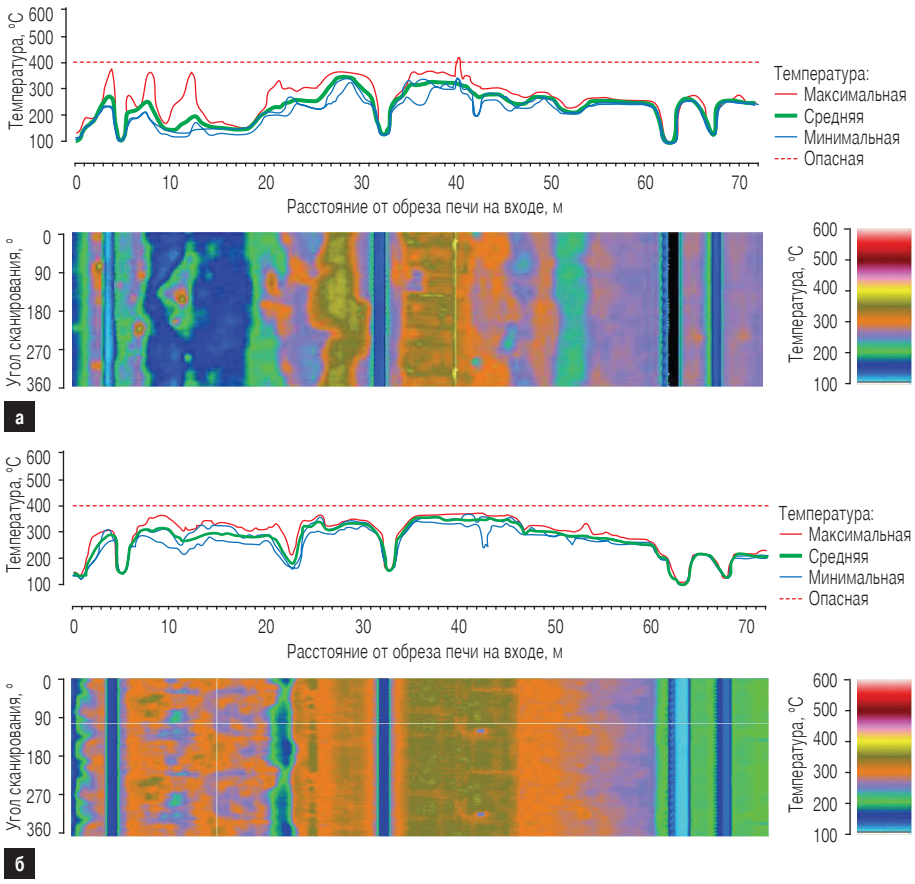

Рис. 5. Распределение температур корпуса печи по ее длине при работе с прежней горелкой (а) и горелкой M.A.S. (б) по данным инфракрасного сканирования

Таблица 1

Границы зон печи до и после установки горелки M.A.S., м

Зона	До установки горелки M.A.S.	После установки горелки M.A.S.
Нижняя переходная	Образование обмазки до обреза печи отсутствует	0—2
Зона обжига	0—22	2—18
Верхняя переходная:		
с нестабильным образованием обмазки	22—28	18—24
без образования обмазки	28—40	24—40
Зона декарбонизации	40—72	40—72

Рис. 6. Сопловая часть горелки после эксплуатации в течение 6 мес

Для старой горелки необходимое рабочее давление первичного воздуха составляло 200 мбар. Теперь оно равно 110 мбар (в самой горелке), что позволило снизить скорость вращения роторов воздуходувки горелки с 880 до 500 об/мин. Благодаря этому увеличилась надежность ее работы— к настоящему времени не произошло не единой аварийной остановки воздуходувки после пуска новой горелки.

Потребляемая мощность воздуходувки составляла 132 кВт. При переходе к эксплуатации горелки Unitherm скорость двигателя и, как следствие, потребление электроэнергии снизились на 30 %. Годовая экономия электроэнергии составит

$$132 \cdot 24 \cdot 310 \cdot 30/100 = 294\,624 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Срок окупаемости горелки M.A.S., рассчитанный на основе вышеуказанной экономии, после замены ею первоначальной горелки составляет 17 мес. Если учесть стоимость необходимого ремонта (приобретение дорогостоящего соплового аппарата и его монтаж вместо разрушенного соплового аппарата исходной горелки), который требовалось срочно выполнить, то срок окупаемости горелки M.A.S. составил 6 мес.

Также отметим, что при длительной эксплуатации оборудования важным экономическим фактором является стоимость запасных частей, в частности для горелки — стоимость сопловой части. При принятии решения о покупке новой горелки для вращающейся печи было немаловажным то обстоятельство, что стоимость сопла горелки M.A.S. в 4—5 раз меньше, чем у первоначально установленной горелки. Кроме того, все сопла имеют резьбовые соединения с корпусом горелки, т. е. заменяются быстро и с минимальными затратами труда.

Для футеровки новой горелки также нужно меньше огнеупорного бетона (см. табл. 2).

Таблица 2

Сравнение расхода огнеупорной смеси и анкеров для бетонирования рубашки горелки

Показатель	Первоначально установленная горелка	Горелка Unitherm
Диаметр горелки (без бетона), мм	711	419
Толщина бетона, мм	80	80
Длина бетонируемого участка горелки, мм	8000	8000
Масса бетона, необходимого для одной рубашки, т	4,77	3,01
Необходимое число анкеров для одной рубашки, шт.	1144	674

Опыт эксплуатации горелки M.A.S. в течение первых 6 мес. также был очень положительным в отношении стойкости огнеупорной футеровки ее сопловой части, существенных повреждений которой по окончании этого срока не наблюдалось (рис. 6).