

ПРИМЕНЕНИЕ КИСЛОРОДА ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ ТКО В ПЕЧИ ШЛАКОВОГО РАСПЛАВА

*О. А. Власов, д. т. н., проф., Сибирский федеральный университет;
В. В. Мечев, д. т. н., проф., научный консультант ООО НТЦ «ЭКМЭН»*



metalspace.ru

Рассмотрено влияние добавления кислорода в воздушное дутье, физико-химических свойств шлаковой ванны и влажности отходов на технико-экономические показатели переработки ТКО в печи шлакового расплава. Показано, что участие в процессе кислорода снижает размеры печи, уменьшает количество газа, выделенного при переработке, увеличивает производительность. Определены пределы влажности отходов для работы печи без использования дополнительных источников тепла.

Существует несколько способов термической переработки отходов: сжигание, пиролиз, газификация. Сжигание – один из наиболее старых способов переработки мусора, имеющий много недостатков (низкая температура сжигания, большой объем газов, выделение диоксинов и фуранов, высокий выход золы, идущей на захоронение, и т. п.) [1]. Применение этого способа нежелательно. Пиролиз хорошо зарекомендовал себя ввиду низкого выхода вредных газов, но он имеет малую производительность и может применяться преимущественно в малых населенных пунктах поселкового типа.

И наконец, газификация. Двухступенчатая газификация, применяемая, например, в Японии фирмой Ебага, состоит из первой ступени – низкотемпературной газификации при 550 °С с получением твердых шлаков (с последующим их захоронением) и второй ступени – дожигания полученных газов при 1300 °С с

получением плавящихся шлаков. Высокотемпературная газификация осуществляется в плазменных печах при 2000 °С и в печах шлакового расплава при 1400 °С.

Основные требования, предъявляемые к мусоросжигательным технологиям, – это возможность перерабатывать отходы любого морфологического состава с образованием шлаков от кислых до основных с температурой отходящих газов не ниже 1300 °С [2]. При этом содержание загрязняющих веществ (ЗВ) в выбросах должно обеспе-

чивать не превышение ПДК в зоне влияния. Для снижения нагрузки на газоочистные сооружения важно получать минимальные объемы отходящих газов. Сумма всех этих требований не обеспечивается ни российскими, ни зарубежными технологиями, однако этого можно достигнуть при обогащении дутья кислородом.

Для печей шлакового расплава введение в дутье до 40 % кислорода позволит снизить общий объем газов, затраченных на сжигание 1 т ТКО, за счет уменьшения коли-

Таблица 1

Выбросы при переработке ТКО в печи шлакового расплава при обогащении дутья печи и на стадии дожигания кислородом на 40 % (расчетные данные), кг/т

Вещество	Удельные выбросы
CO ₂	810,3
H ₂ O	427,8
N ₂	936,2

Таблица 2

Содержание ЗВ в выбросах от сжигания ТКО в печи шлакового расплава, мг/м³

Компонент	Данные эксперимента
Антрацен	$(0,5 \div 3) \times 10^{-14}$
Пирен	$(0,4 \div 2) \times 10^{-14}$
Бенз(а)пирен	$(0,1 \div 3) \times 10^{-15}$
Диоксид серы	$(2 \div 5) \times 10^{-2}$
Хлорид водорода	$(3,1 \div 4,5) \times 10^{-2}$
Фторид водорода	$(6 \div 9) \times 10^{-5}$
Оксид азота	$(5 \div 6,3) \times 10^{-2}$
Диоксид азота	$(4 \div 6) \times 10^{-2}$

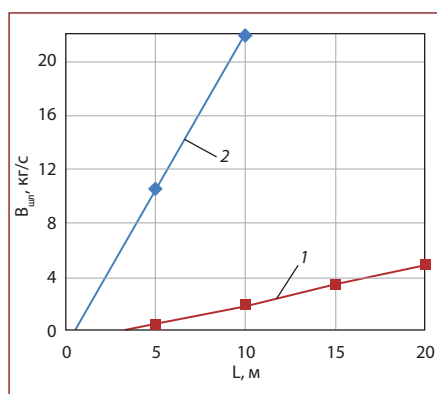


Рис. 1. Зависимость производительности агрегата от его длины при различных степенях обогащения дутья кислородом: 1 – использование воздуха; 2 – использование чистого кислорода

Объемы отходящих газов от сжигания ТКО уменьшаются с увеличением в них содержания диоксида углерода. Это положительно скажется на капитальных вложениях в строительство газоочистных сооружений, затратах на их обслуживание и эксплуатацию. При проведении в Рязани опытов по сжиганию ТКО в печи шлакового расплава при температуре выше 1300 °С получены данные о составе отходящих газов на опытно-промышленной установке [4, 5], представленные в табл. 2.

С учетом некоторых допущений создана математическая модель газификации ТКО в барботируемом шлаковом расплаве, построены зависимости производительности печи шлакового расплава от ее длины при различных степенях обогащения дутья кислородом (рис. 1). Из рисунка видно, что использование кислорода в дутье не только приводит к росту производительности печи по сравнению с воздушным дутьем, но и дает возможность значительно уменьшить длину печи. Значения производительности печей с содержанием кислорода в дутье от 21 до 100 % будут лежать между линиями, показанными на графике.

Применение кислорода требует дополнительных капиталовложений на приобретение кислородной станции и в дальнейшем на получение кислорода. Однако в настоящее время в России производят кислородные станции блочного исполнения. Так, компания «Азотная станция» производит кислородные станции,

работающие по адсорбционной технологии, предполагающей поглощение молекул азота, водяных паров, углекислого газа при прохождении сжатого воздуха сквозь стальные емкости, заполненные адсорбентом. Газы, имеющие более крупные молекулы, проходят без адсорбции. Таким образом, происходит процесс адсорбционного разделения газовых сред с получением кислорода чистой до 95 %.

Расчеты показывают, что применение кислорода является не таким затратным предприятием. Если при сжигании отходов в печи шлакового расплава воздух дутья будет обогащен кислородом до 40 %, то потребуется 95 нм³ кислорода на 1 т сжигаемых ТКО. При затратах электроэнергии 0,5 кВт·ч для получения 1 нм³ кислорода на кислородной станции, на получение 95 нм³ кислорода потребуется около 48 кВт·ч электроэнергии. В печи, снабженной котлом-утилизатором и парогенератором, от сжигания 1 т ТКО можно получить 726 кВт·ч электроэнергии. Да и снижение размеров печи и газоочистных сооружений, повышение производительности за счет применения кислорода и уменьшение содержания ЗВ в отходящих газах при температуре выше 1300 °С с избытком покрывают затраты на получение кислорода.

Особое влияние на термические свойства ТКО оказывает влажность. На рис. 2 показана зависимость нижней теплоты сгорания ТКО от их влажности, рассчитанная по формуле Д. И. Менделеева [2]. Расчет проводился исходя из состава ТКО, приведенного в табл. 3.

Таблица 3

Характеристики сжигаемых ТКО, масс. %

Показатель	Значение
W _p (рабочая влажность)	40
A _c (зольность на сухую массу)	16,5
Углерод	22,1
Водород	2,8
Кислород	18
Прочее	0,6

чества азота, занимающего в воздухе 78 % и уносящего из печи основную часть тепла. Появляется также возможность значительно повысить температуру сжигания.

Так, при переработке ТКО в печи шлакового расплава на чисто воздушном дутье общая масса газа, ушедшая на газоочистку, составляла 3021,3 кг на 1 т перерабатываемых отходов, при обогащении дутья печи кислородом на 40 % – 2515,6 кг/т и, наконец, при обогащении дутья печи и на стадии дожигания кислородом на 40 % – 2174,3 кг/т. Удельные выбросы, имеющие место в последнем случае, приведены в табл. 1.

Следует отметить, что при удалении паров воды содержание CO₂ может достигать 46,4 % [3].

Таблица 4

Основные требования к шлаковому расплаву, в котором сжигаются ТКО

Показатель	Значение
Плотность, т/м ³	2,7–3,5
Поверхностное натяжение, мН/м	350–450
Вязкость, Па·с	5–40
Интервал плавления, °С	1150–1350

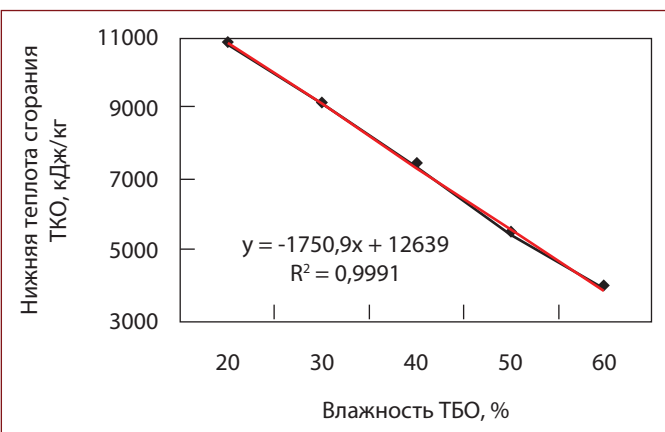


Рис. 2. Зависимость нижней теплоты сгорания от содержания влаги в ТКО

На рис. 2 видно, что при изменении влажности от 20 до 60 % теплота сгорания изменяется от 11 000 до 4000 кДж/кг. Поэтому в ряде случаев при высокой влажности ТКО для поддержания требуемой температуры возможно добавлять в топку уголь. На рис. 3 представлена зависимость средней температуры шлакового расплава от влажности перерабатываемых ТКО в печи. При влажности больше 40 % возможно, как и в предыдущем случае, добавлять уголь для увеличения температуры сжигания.

Основные требования к шлаковому расплаву, в котором сжигаются ТКО, приведены в табл. 4.

На тепловые потери в значительной мере влияет теплопроводность

шлаков и их теплоемкость. Плотность шлака играет роль в проникновении газовых струй в расплав (чем она выше, тем большие энергетические затраты, и чем она меньше, тем лучше идет разделение шлака и металла). Поверхностное натяжение определяет каплеунос, способность расплава пропустить через себя газы без выбросов, способность расплава проникать в поры огнеупоров и др. Плотность и поверхностное натяжение снижаются при увеличении содержания кремнезема в шлаке. Значительно снижают поверхностное натяжение сера, фосфор, щелочные металлы, кислород. Вязкость шлаков зависит от соотношения основных компонентов – оксидов кремния, алюминия, железа, кальция, – которое легко регулируется соответствующими флюсами, подаваемыми совместно с углем и ТКО [6].

В соответствии с изложенными требованиями к термическим способам переработки ТКО предлагается следующая схема (рис. 4). Отходы из мусоровозов загружаются в загрузочный бункер на наклонную решетку для отделения КГО (которые направляются на дробление). Прошедшие сквозь решетку отходы поступают в печь шлакового расплава. Воздух из загрузочного бункера подается с помощью компрессора в зону сжигания горючих газов котла-утилизатора, где полностью разлагаются ароматические углеводороды. Для снижения объема получаемых газов в котле-утилизаторе предусмотрено обогащение поступающего на сжигание воздуха кислородом до 40 % (что означает введение дополнительной кислородной станции и смесителя воздуха и кислорода).

В печи шлакового расплава [7, 8] ТКО сжигают в присутствии кислорода. Воздушная смесь, обогащенная кислородом на 40 %, подается из смесителя в дутьевые фурмы печи, равномерно расположенные по периметру и закрепленные на водоохлаждаемых кессонах. Для охлаждения элементов печи используется система охлаждения печи жидкой ванны, разработанная еще в XX в. институтами МИСиС и Гипроникель [9] и хорошо зарекомендовавшая себя в работе.

Над печью располагают загрузочный бункер флюсов для подшихтовки шлака и получения его заданного состава для изготовления строительных материалов [6]. В качестве флюсов используют CaO и SiO₂. При недостатке выделяемого в результате сжигания ТКО тепла из бункера флюсов можно добавлять уголь для компенсации этого недостатка.

Отходящие из печи при расчетной температуре 1400 °С газы, состо-

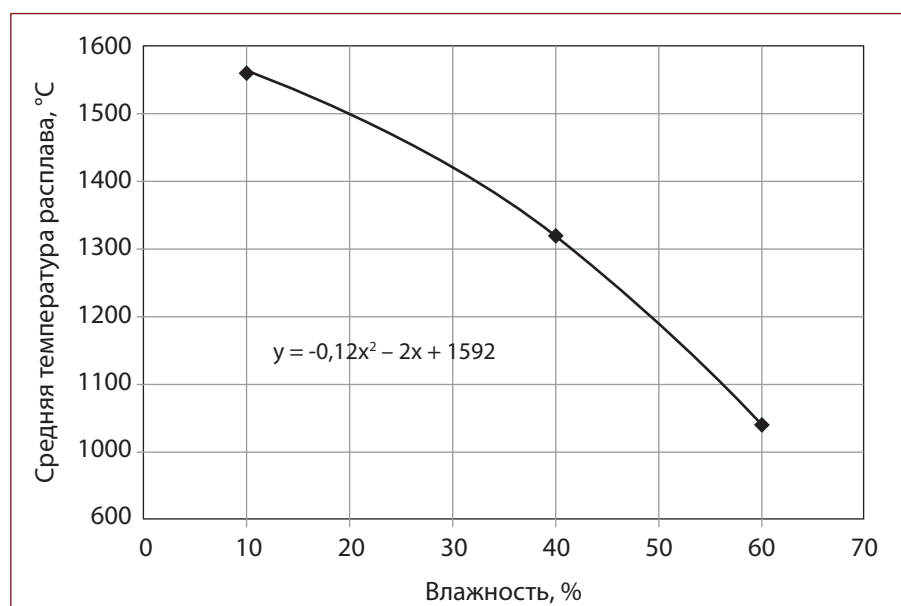


Рис. 3. Зависимость температуры расплава в печи от влажности перерабатываемых ТКО

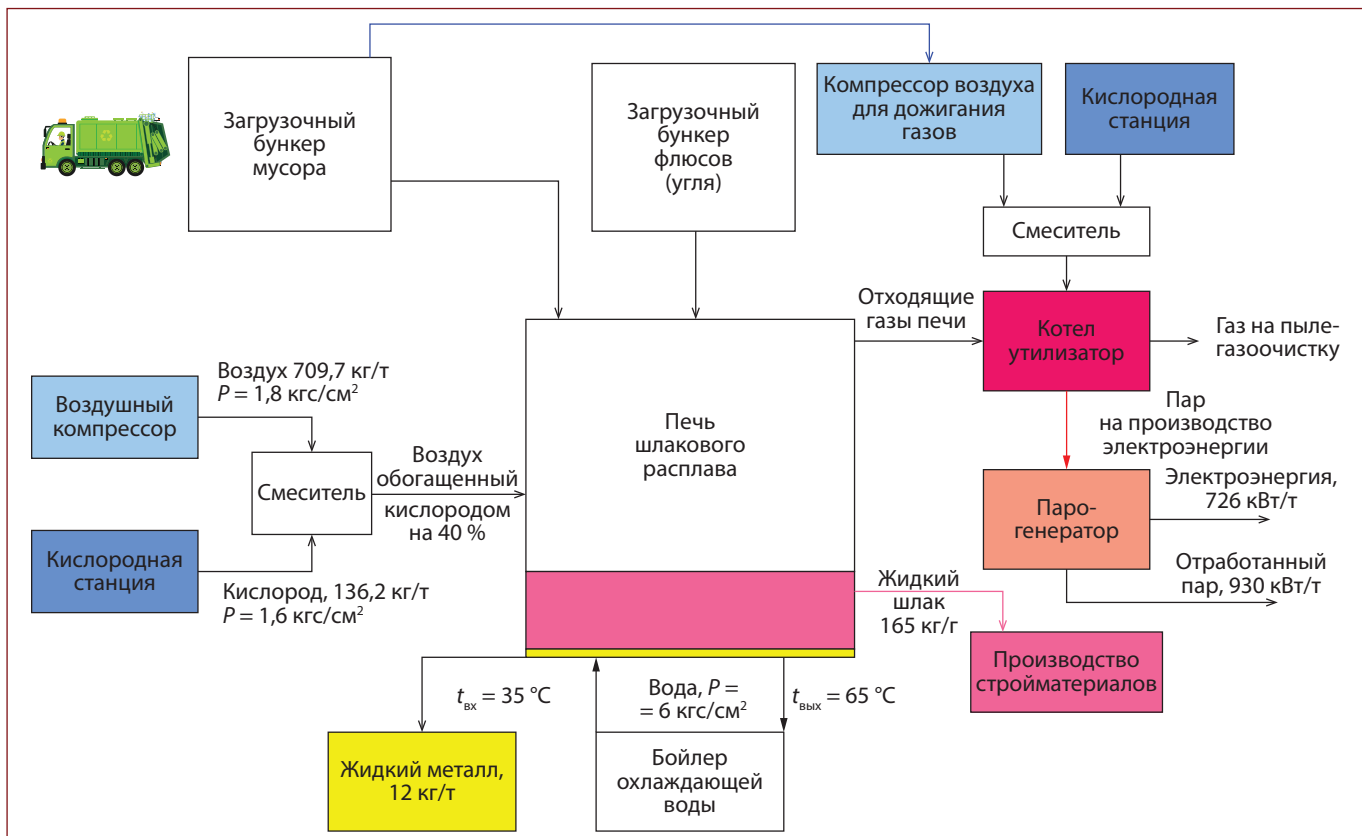


Рис. 4. Схема термической переработки ТКО

ящие в основном из азота, монооксида углерода CO , диоксида углерода CO_2 , водорода, паров воды и примесей, поступают в котел-утилизатор, где, как уже упоминалось, горючие углеводороды сжигаются. Шлак требуемого состава, получаемый за счет подшихтовки, идет на изготовление строительных материалов. Металл, получаемый в небольших количествах, по составу близок к чугуна и может быть использован в литейном производстве. Пар, полученный в котле-утилизаторе, идет в парогенератор для выработки тепла и (или) электроэнергии.

Отходящие газы из котла-утилизатора поступают на пылегазоочистку, оборудование для которой может быть как отечественным, так и импортным. Уловленные твердые загрязнители брикетируются и подаются назад в печь шлакового расплава.

ВЫВОДЫ

Введение кислорода в воздушное дутье позволяет увеличить производительность печи шлакового расплава, значительно уменьшить ее размеры, что приведет к уменьше-

нию капитальных затрат на ее изготовление. При этом ввиду снижения объемов образующихся при сжигании газов уменьшаются мощности пылегазоочистных сооружений, что также положительно скажется на капитальных и эксплуатационных затратах. В отходящих газах после газоочистки при удалении паров воды доля двуоксида углерода возрастет до 46,4 %, что позволит использовать их для получения углекислоты. Сжигание ТКО при температуре около 1300 °C за счет применения кислорода позволит снизить образование таких вредных газов, как фураны, диоксины, ГХДД и т. п. Данные, приведенные в части влияния физико-химических свойств ТКО на процесс их переработки в шлаковом расплаве, позволяют определить пределы влажности отходов, при которых можно сжигать их без дополнительного тепла. ♻️

ЛИТЕРАТУРА

1. Власов О. А., Мечев В. В. Анализ работы печей сжигания отходов. – ТБО. – 2017. – № 8. – С. 38–41.

2. Власов О. А., Мечев В. В., Мечев П. В. Рециклинг ТБО в печи шлакового расплава. – ТБО. – 2015. – № 11. – С. 19–21.

3. Власов О. А., Мечев В. В. Полезное применение выбросам. – ТБО. – 2018. – № 2. – С. 30–31.

4. Мечев В. В. и др. Полупромышленная переработка бытовых отходов в печи Ванюкова. – Цветная металлургия. – 1993. – № 1. – С. 26.

5. Мечев В. В. К вопросу получения горючих газов для металлургии, химии, теплоэнергетики. – РАН. Металлы. – 1994. – № 3. – С. 3–13.

6. Власов О. А., Мечев В. В. Использование продуктов от сжигания ТКО в шлаковом расплаве. – ТБО. – 2017. – № 2. – С. 25–29.

7. Мечев В. В., Власов О. А. Переработка ТБО в печах со шлаковым расплавом. – ТБО. – 2014. – № 2. – С. 20–25.

8. Власов О. А., Мечев В. В., Мечев П. В. Конструктивные особенности печи для переработки ТБО. – ТБО. – 2016. – № 1. – С. 26–29.

9. Гальбек А. А., Барсуков Н. М., Чумаков Ю. А. Водяное охлаждение под разрежением узлов печей. – Цветные металлы. – 1989. – № 6. – С. 42–45.