СЕКЦИЯ 2. НАУКИ О ЗЕМЛЕ

Термодинамическое моделирование процесса обработки замасленных железосодержащих шламов в условиях воздушной плазмы

*Алюков Е.С., студент,
Томский политехнический университет,
г. Томск
E-mail: john.judo@mail.ru*

*Научный руководитель:
ассистент Новоселов И.Ю.*

Одной из проблем предприятий черной металлургии является переработка замасленной окалины и шламов, ежегодный прирост которых достигает миллионов тонн в год. Особый интерес при этом представляют замасленные железосодержащие шламы (ЗЖШ) донных иловых отложений шламонакопительных систем, содержание железа в которых достигает 45–63 %, что позволяет считать их ценным техногенным сырьем.

Переработка ЗЖШ в настоящее время решается, в основном, путем обезмасливания с последующей утилизацией [1-3]. Однако химическое (отмывка химическими реагентами) и термическое (выжигание масла) обезмасливание – дорогостоящие процессы, создающие дополнительные экологические проблемы по регенерации промывных вод и очистке отходящих газов. Поэтому разработка эффективной технологии обезмасливания и комплексного использования ЗЖШ является актуальной для предприятий черной металлургии.

Существенное снижение энергозатрат может быть достигнуто при плазменной обработке ЗЖШ в виде горючих водно-органических композиций (ВОК) [4]. Объективным показателем горючести таких композиций является их адиабатическая температура горения $T_{ад}$ [5]:

$$T_{ад} = \frac{Q_n^p + C_{омх} \cdot t_{омх} + \alpha \vartheta_{ок}^0 \cdot C_{ок} \cdot t_{ок}}{V_{y\partial} \cdot C_{y\partial}},$$

где

$$Q_n^p = \frac{(100 - W - A) \cdot Q_n^c}{100} - \frac{2,5 \cdot W}{100} - \text{низшая теплота сгорания композиции, МДж/кг;}$$

Q_n^c – низшая теплота сгорания горючего компонента композиции, МДж/кг;

W и A – содержание воды и негорючих минеральных веществ в ВОК, %;

2,5 – скрытая теплота испарения воды при 0 °С, МДж/кг;

$C_{омх}$ – средняя массовая теплоемкость композиции, кДж/(кг·град);

$t_{омх}$ – температура композиции, °С;

α – коэффициент расхода окислителя;

$\vartheta_{ок}^0$ – теоретический расход окислителя, м³/м³;

$C_{ок}$ – средняя теплоемкость окислителя, кДж/(м³·град);

$t_{ок}$ – температура окислителя, °С;

$V_{y\partial}$ – удельный объем, м³/кг;

$C_{уд}$ – удельная теплоемкость, кДж/(кг·°С).

На рисунке 1 показано влияние содержания масла на адиабатическую температуру горения ВОК на основе ЗЖШ при разном содержании механических примесей в композициях.

Рис. 1. Влияние содержания масла на адиабатическую температуру горения ВОК на основе ЗЖШ при разном содержании механических примесей в композициях

В результате проведенных расчётов определена оптимальная по составу водно-органическая композиция (состав – 40 % ЖШ : 42 % вода : 18 % масло), она имеет $T_{ад} \approx 1200$ °С и обеспечивает энергоэффективную обработку ЗЖШ в воздушной плазме. Теплота сгорания такой горючей композиции достигает $\approx 5,7$ МДж/кг, что позволяет получать в процессе ее плазменной обработки до 1,6 МВт/ч·т тепловой энергии, которую можно использовать для технологических и бытовых нужд.

Для расчёта равновесных составов газообразных и конденсированных продуктов плазменной обработки ЗЖШ использовалась программа TERRA. Расчёты проведены при атмосферном давлении (0,1 МПа), в широком диапазоне температур (300–4000) К и массовых долей воздушного плазменного теплоносителя (0,1–0,9). Для моделирования использован следующий характерный состав ЗЖШ: Fe – 44,2 %, SiO_2 – 20,38 %, CaO – 1,15 %, Ca – 7,34 %, MnO – 0,59 %, Mn – 0,75 %, Mg – 0,48 %, Zn – 0,09 %, H_2O – 9,57 %, $\text{C}_{14}\text{H}_{10}$ – 13,43 %.

На рисунке 2 представлены характерные равновесные составы основных газообразных (а) и конденсированных (б) продуктов обработки ЗЖШ в воздушной плазме в виде ВОК при массовой доле воздушного теплоносителя 74 %.

Из анализа равновесных составов следует, что при массовой доле воздуха 74 % и температурах до 1600 К в газовой фазе образуются, в основном, N_2 , CO_2 и H_2O , а в конденсированной фазе – простые и сложные оксиды металлов, включая немагнитный оксид железа $Fe_2O_3(c)$.

Рис. 2. Равновесный состав газообразных (а) и конденсированных (б) продуктов обработки ЗЖШ в воздушной плазме в виде ВОК (74 % воздух : 26 % ВОК)

На рисунке 3 представлены характерные равновесные составы основных газообразных (а) и конденсированных (б) продуктов обработки ЗЖШ в воздушной плазме в виде ВОК при массовой доле воздушного теплоносителя 73 %.

Рис. 3. Равновесный состав газообразных (а) и конденсированных (б) продуктов обработки ЗЖШ в воздушной плазме в виде ВОК (73 % воздух : 27 % ВОК)

Снижение массовой доли воздушного теплоносителя с 74 % до 73 % (рис. 3) приводит к образованию (при температурах до 1600 К) в конденсированной фазе простых и сложных оксидов металлов, но включая уже магнитный оксид железа $Fe_3O_4(c)$.

Отсутствие сажи и незначительное количество CO и NO указывают на то, что процесс плазменной обработки ЗЖШ в виде ВОК идёт в оптимальном режиме с получением в конденсированной фазе магнитного оксида железа. Дальнейшее понижение массовой доли воздушного теплоносителя приводит к увеличению в газовой фазе содержания CO и появлению в конденсированной фазе значительного количества сажи $C(c)$.

Наличие магнитного оксида железа в составе твердых продуктов плазменной обработки ЗЖШ позволит применить магнитное осаждение (магнитную сепарацию) для эффективного извлечения твердых дисперсных железосодержащих продуктов плазменной обработки ЗЖШ из водных суспензий. Эти суспензии образуются при взаимодействии продуктов, получающихся после плазменной обработки ВОК, с водой в узле мокрой очистки газов, отходящих из плазмохимического реактора.

С учётом полученных результатов для практической реализации процесса плазменной обработки ЗЖШ в воздушной плазме могут быть рекомендованы следующие оптимальные режимы:

- состав ВОК: 40 % ЗЖШ : 42 % вода : 18 % масло;
- массовое отношение фаз: 73 % воздух : 27 % ВОК;
- интервал рабочих температур: 1500 ± 100 К.

Результаты проведенных исследований могут быть использованы при создании технологии плазменной утилизации замасленных железосодержащих шламов и других отходов предприятий черной металлургии.

Список литературы:

1. Сомова Ю.В. Технологии переработки железосодержащих шламов металлургического производства / Ю.В. Сомова, В.Х. Валеев // Научные основы и практика переработки руд и техногенных отходов: Материалы международной науч.-техн. конф. – Екатеринбург: Изд. «Форт Диалог-Исеть», 2013. – С. 301–305.

2. Технология утилизации замасленной окалины при производстве кокса / Кекух А.В., Линецкий Б.М., Крипак С.Н. и др. // Сб. тр. межд. науч.-техн. конф. - Кривой Рог, 24-27 мая 2004 г.- С. 587–590.

3. Ладыгичев М.Г., Чижикова В.М. Сырье для черной металлургии: Справочное издание: в 2-х т. Т.2. Экология металлургического производства / М.Г. Ладыгичев, В.М. Чижикова. – М.: Теплотехник, 2005. – 448 с.

4. Каренгин А.Г., Каренгин А.А., Ковалев А.В., Новоселов И.Ю. Расчет и оптимизация процесса плазменной утилизации горючих отходов переработки отработавшего ядерного топлива // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2014. – Т. 57. – № 2-2. – С. 31–34.

5. Каренгин А.А., Новоселов И.Ю. Модель кинетики испарения капель диспергированных водных растворов в виде горючих композиций в воздушно-плазменном потоке // Перспективы развития фундаментальных наук: сборник научных трудов XIII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых – Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2016. – С. 60–62.