

УДК 66.092

ПРОБЛЕМЫ ПЕРЕРАБОТКИ КОМПОНЕНТОВ ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ ПРИ ЕЕ УТИЛИЗАЦИИ

Д. А. МАКАРЕНКОВ¹, Л. А. СИВАЧЕНКО², Л. Л. СОТНИК³¹ НИЦ «Курчатовский институт»

Москва, Россия

² Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

³ Барановичский государственный университет

Барановичи, Беларусь

Современное общество невозможно представить без устройств мобильной связи. В сравнении с 1990 и 2000 гг., когда устройство мобильной связи было роскошью, в сегодняшнем мире телефон воспринимается как неотъемлемая составляющая обихода. И все чаще встает вопрос переработки и утилизации используемых в устройствах аккумуляторных батарей.

В качестве аккумуляторов большинство современных устройств мобильной связи используют литий-ионные аккумуляторы, это обусловлено тем, что по сравнению с другими батареями они имеют самую высокую плотность энергии.

Энергетическая ценность литий-ионных аккумуляторов в основном определяется материалом катода. Наиболее распространенным вариантом является оксид лития-кобальта (LiCoO_2) с плотностью энергии до $180 \text{ Вт} \cdot \text{ч} / \text{кг}$. Преимуществами литий-ионных аккумуляторов являются высокая плотность энергии и высокое рабочее напряжение. Несмотря на длительное время работы, жизненный цикл таких аккумуляторов ограничен [1], что приводит к увеличению образования опасных отходов (2-й класс опасности). В результате их хранения окружающая среда загрязняется опасными химическими веществами. К ним относятся: соединения кобальта (Co) и лития (Li); электролит, в том числе соли лития (LiClO_4 , LiBF_4 и LiPF_6); органический растворитель, связующее поливинилденфторид и графит [2].

В то же время отходы литий-ионных аккумуляторов являются ценным техногенным сырьем, содержащим около 20 %...25 % Co, 3 %...4 % Li, 14,5 % Al и Cu в виде фольги, 16 % графита, 14 % полимеров, 24 % стали и 2,5 % электролита.

Проблемами переработки литий-ионных аккумуляторов занимается большое количество исследователей, однако большая часть исследований направлена на извлечение ценных компонентов в виде Co, Ni, Mn, Li, а переработка анодного материала, содержащего графит, практически не исследована.

Одним из перспективных направлений использования полученного графита является строительная отрасль, где широко используются графитовый и углеродистый кирпич. Графитовый кирпич обладает высокой термостойкостью и максимальной температурой. Он имеет высокую теплопроводность, малый коэффициент линейного расширения и хорошую термостойкость. При производстве графитового кирпича методом прессования используются

специальный мелкозернистый графит и антикоррозионные смолы. Его теплопроводность и электропроводность снижаются примерно на 30 %.

Известно, что углеродсодержащие компоненты, например, в углеродных кирпичах, можно частично заменить техническим углеродом (пироуглеродом), который можно получить пиролизом. В литературе представлена технология получения технического углерода из изношенных автомобильных покрышек, но не освещено производство технического углерода пиролизом из отходов литий-ионных аккумуляторов.

Предлагается рассмотреть процесс переработки анодных материалов литий-ионных аккумуляторов с целью получения из них графита и сажи методом пиролиза. Для подтверждения эффективности процесса переработки проведены экспериментальные исследования процесса разложения катодных и анодных материалов литий-ионных аккумуляторов по отдельности, а также их смеси путем пиролиза. При изучении кинетики и механизма пиролиза углеродсодержащих материалов был проведен анализ этого процесса и его характеристик, которые оценивали с помощью термогравиметрического и дифференциального термогравиметрического методов.

Характеристики пиролиза показывают, что органические вещества, содержащиеся в аккумуляторах, могут разлагаться при температуре пиролиза 500 °С для катодных материалов и 450 °С для анодных материалов. Впоследствии это приводит к более высокой эффективности извлечения ценных компонентов при более коротком времени измельчения. При разложении смеси материалов литий-ионных аккумуляторов удаляется большее количество органических компонентов, чем при пиролизе анодных и катодных материалов по отдельности. В этом случае скорость разложения смеси материалов происходит медленнее [2].

На основании экспериментальных исследований определены значения энергии активации материалов литий-ионных аккумуляторов после стадии пиролиза. Содержание компонентов в порошке, полученном после стадии пиролиза, определяли методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой.

Результаты термических исследований позволяют рекомендовать режимные параметры процесса пиролиза аккумуляторов различных типов. При производстве графита и углеродистого кирпича вместо природного графита можно использовать углеродную сажу, полученную пиролизом.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lithium ion battery degradation: what you need to know / J. S. Edge [et al.] // *Physical Chemistry Chemical Physics*. – 2021. – № 23 (14). – P. 8200–8221.
2. Features of the pyrolysis process of waste batteries using carbon black as an additive in the construction industry / V. I. Nazarov [et al.] // *Construction Materials and Products*. – 2023. – № 6 (6). – P. 4.