

УДК 669.713

Сравнительная оценка эмиссии канцерогенных веществ при использовании средне- и высокотемпературных пеков в производстве алюминия в электролизерах Содерберга

А. Г. АНШИЦ¹, Л. И. КУРТЕЕВА¹, С. И. ЦЫГАНОВА¹, А. Р. СУЗДОРФ¹, Н. Н. АНШИЦ¹, С. В. МОРОЗОВ²¹Институт химии и химической технологии Сибирского отделения РАН,
ул. К. Маркса, 42, Красноярск 660049 (Россия)

E-mail: anshits@krsk.infotel.ru

²Институт органической химии имени Н. Н. Ворожцова Сибирского отделения РАН,
проспект Академика Лаврентьева, 7, Новосибирск 630090 (Россия)

(Поступила 03.04.2001)

Аннотация

Исследована замедленная (1 °С/мин) и скоростная (70 °С/мин) карбонизация анодных масс на основе средне- и высокотемпературных пеков, определены выходы смолистых веществ и канцерогенных ПАУ. Анализ профилей ПАУ смол лабораторной карбонизации и экстрактов промышленных пылей показал практически полную идентичность составов ПАУ. Проведено сравнение удельных выходов смолистых веществ и канцерогенных ПАУ от основных источников на ОАО КрАЗ при использовании анодных масс на основе средне- и высокотемпературных пеков. Выделен наиболее значимый источник канцерогенной опасности электролизера Содерберга – технологическая операция перестановки штырей. Вклад этого источника в атмосферные выбросы канцерогенных ПАУ составляет 60–80 % и обычно не учитывается производителями алюминия. Показано, что замена среднетемпературного пека на высокотемпературный в составе анодных масс не снижает канцерогенной опасности производства алюминия в электролизерах Содерберга.

ВВЕДЕНИЕ

Алюминиевой промышленности России удалось сохранить основные производственные показатели в условиях общего экономического спада последнего десятилетия. В настоящее время примерно 2 млн т алюминия производится на предприятиях Сибири, что в значительной степени определяет сохранение ее экономического потенциала. При этом только 15–20 % алюминия производится на основе современной экологически чистой технологии обожженных анодов, обеспечивающей низкий (0.06 кг/т Al) [1] удельный выход смолистых веществ, содержащих канцерогенные полициклические ароматические углеводороды (ПАУ). В этом случае удельный выход суммы четырнадцати ПАУ составляет 0.007 кг/т Al [2].

Два крупнейших мировых производителя алюминия (Братский и Красноярский (КрАЗ) алюминиевые заводы) получают алюминий в

электролизерах Содерберга с самообжигающимися анодами. В результате полномасштабного перехода на “сухую” анодную массу удельные выбросы смолистых веществ на ОАО КрАЗ были снижены до 2.09 кг/т Al [1, 3]. В качестве одного из направлений существенного снижения экологического риска рассматривается использование высокотемпературных пеков для приготовления анодной массы вместо среднетемпературных. Такая замена связана, с одной стороны, с экономическими и технологическими преимуществами, обусловленными снижением расхода анодной массы, с другой стороны, со снижением удельного выхода смолистых веществ, характерным для высокотемпературных пеков [1–9]. Так, фирмой “Alcan” (Канада) для электролизеров Содерберга с боковым токоподводом установлено, что при повышении температуры размягчения пека от 105 до 132 °С (по Метлеру) расход анодной массы снижается на 13.0 кг/т

Al, а выброс суммы 14 ПАУ – на 0.2 кг/т Al [2]. Замена среднетемпературного пека на высокотемпературный на Иркутском алюминиевом заводе привела к снижению расхода анодной массы на 27.0 кг/т Al и одновременно существенному уменьшению выбросов смолистых веществ [8]. На Богословском заводе такая замена позволила снизить выход летучих продуктов на 59–61 % [9]. Однако затраты, связанные с переходом на высокотемпературные пеки, достаточно высоки, поэтому обоснование снижения экологического риска при переходе от средне- к высокотемпературным пекам в условиях экономического кризиса имеет исключительно важное значение.

При оценке выбросов канцерогенных ПАУ учитывается в основном выход смолистых веществ и бенз(а)пирена, как индикатора канцерогенности. Остальные канцерогенные ПАУ, содержащиеся в смоле карбонизации, не контролируются и, следовательно, не учитываются. В наших предыдущих работах [10–12] оценка канцерогенного риска проводилась путем расчета бензпиренового эквивалента (БЭ) с использованием относительных коэффициентов токсичности канцерогенных ПАУ. Однако значительные расхождения значений относительных коэффициентов токсичности ПАУ, используемых разными авторами при оценке канцерогенной опасности в разных источниках [2, 13–17], и отсутствие законодательно принятых методик определения БЭ не позволяют достоверно определять канцерогенный риск отдельных источников и технологии в целом. Поэтому в данной работе канцерогенная опасность отдельных источников определялась по выходу трех наиболее опасных канцерогенных ПАУ – бенз(а)антрацена, бенз(а)пирена, дибенз(а,h)антрацена.

При оценке канцерогенной опасности производства алюминия в электролизерах Содерберга в качестве источников загрязнения атмосферы канцерогенными ПАУ традиционно рассматриваются выбросы системы газоочистки и утечка газов из-под колокола электролизера. Однако в качестве такого источника не рассматривается технологическая стадия перестановки токоподводящих штырей. На этой стадии в открытой лунке происходит скоростной пиролиз подштырьевой анодной массы и разложение анодной массы, налипшей

на извлеченный штырь. Данным обстоятельством обусловлены низкие значения удельных выбросов смолистых веществ в производстве алюминия по технологии Содерберга зарубежными фирмами. В частности, в фирме “Reynolds” выброс смолистых веществ при использовании высокотемпературного пека составляет 0.21 кг/т Al [1], в фирме “Kaiser Aluminium & Chemical Corporation” (в условиях ОАО КраЗ) – 0.39–0.65 кг/т Al [3]. Удельный выброс ПАУ от электролизеров Содерберга с верхним токоподводом в фирме “Alcan” составляет 0.2 кг/т Al [2].

Представляется важным оценить вклад в канцерогенную опасность производства двух основных источников поступления ПАУ в атмосферу:

- газов, образующихся в процессе замедленной (0.01–0.1 °C/мин) карбонизации “сухой” анодной массы и формирования тела анода;
- газов из открытой лунки при перестановке штырей. На этой стадии в открытой лунке происходит скоростной (70–100 °C/мин) пиролиз подштырьевой анодной массы и формирование “вторичного” анода.

Цель данной работы – сравнение удельных выходов канцерогенных ПАУ в процессе карбонизации анодных масс на основе средне- и высокотемпературных пеков в сопоставимых условиях, моделирующих формирование анодов в электролизерах Содерберга.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

На ОАО КраЗ были отобраны образцы средне- (СТП) и высокотемпературных пеков

ТАБЛИЦА 1
Технические характеристики пеков

Показатель	Пек	
	высокотемпературный	среднетемпературный
Температура размягчения, °C	110–113 (по Метлеру)	75–77 (кольцо- стержень)
Содержание веществ, %:		
нерастворимых		
в толуоле	25.6–26.4	26.0–28.0
в хиолине	6.0–7.0	10.0–13.8
летучих	56	55–58
Зольность, %	0.16–0.20	0.10–0.20

(ВТП), технические характеристики которых приведены в табл. 1. В данной работе использовались образцы промышленных партий "сухих" анодных масс, содержащих нефтяной кокс, прокаленный при 1200 °С, и 30.5 % СТП или 27 % ВТП (по массе), а также подштырьевая ("жирная") анодная масса с массовой долей СТП или ВТП 37 %.

Экспериментальная установка для моделирования формирования самообжигающегося анода (замедленная карбонизация – 1 °С/мин) подробно описана в работе [10]. Для моделирования скоростной карбонизации (70 °С/мин) подштырьевой анодной массы в лунках использовалась установка, включающая кварцевый реактор с электрическим нагревателем. В реактор помещали прокаленный кокс и снизу подавали поток гелия для имитации выхода анодных газов через лунку. Навеску анодной массы (5–7 г) помещали в разогретый до 700 °С реактор. Для улавливания смолистых веществ в верхней части реактора использовали водяной холодильник, а для улавливания аэрозолей – ловушку с бензолом. Используемая экспериментальная техника позволяет в воспроизводимых условиях определять выход основных продуктов карбонизации анодных масс: кокса, газов, смолистых веществ, широкого набора ПАУ, включая канцерогенные. Для учета неоднородности состава образцов проводили статистическую обработку необходимого числа экспериментальных данных.

Экстракцию промышленной пыли проводили следующим образом: к исследуемому образцу массой 5–10 г добавляли 100 мл бензола и кипятили с обратным холодильником в течение часа. Полученную суспензию фильтровали и в фильтрате определяли содержание ПАУ.

Анализ ПАУ в смолах пиролиза и фильтрах проводили по методике EPA-610 с использованием кварцевой капиллярной колонки (12 м × 0.2 мм × 0.3 мкм) с неподвижной силиконовой фазой SE-54. Количественно определяли суммарное содержание антрацена и фенантрена (А+Ф) и содержание индивидуальных ПАУ: флуорантена (Фл), пирена (П), бенз(а)антрацена (БаА), хризена (Хр), бенз(б)-флуорантена (БбФ), бенз(е)пирена (БеП), бенз(а)пирена (БаП), дибенз(а, h)антрацена (ДБА), бенз(г, h, i)перилена (БП). Сумму ПАУ (СПАУ) определяли как суммарное содержа-

ние А+Ф и девяти индивидуальных ПАУ. Долю углеводородов в СПАУ (профили ПАУ) определяли как отношение концентрации А+Ф или индивидуальных ПАУ к суммарной концентрации ПАУ.

ЗАМЕДЛЕННАЯ КАРБОНИЗАЦИЯ АНОДНЫХ МАСС

При исследовании замедленной карбонизации среднетемпературных пеков разных производителей показано, что по характеру протекания процесса карбонизации, динамике выделения газов и выходу продуктов карбонизации (кокса, газов, смолистых веществ, ПАУ) пеки статистически не различимы, а канцерогенная опасность их использования одинакова [10].

Карбонизация пеков и промышленных анодных масс на их основе [11], проведенная в условиях, моделирующих формирование тела самообжигающегося анода и колокольных газов, показала, что присутствие кокса в анодных массах не влияет на выход основных продуктов карбонизации и состав ПАУ в смолистых веществах. Установлено также, что выход смолистых веществ и СПАУ при карбонизации высокотемпературного пека и анодной массы на его основе (АМВТП) снижается по сравнению со среднетемпературным пеком и анодной массой на его основе (АМСТП) примерно в 1.5 раза. Однако выход канцерогенных ПАУ при этом не снижается (табл. 2), поскольку в смолах карбонизации ВТП и анодной массы на его основе наблюдается более высокое содержание высокомолекулярных ПАУ, включая канцерогенные. Следовательно, уменьшение выхода смолистых веществ не может служить достоверным критерием оценки канцерогенной опасности стадии формирования самообжигающегося анода.

Ранее было установлено, что при использовании СТП основная часть смолистых веществ и канцерогенных ПАУ образуется при температурах выше 640 °С [10]. В случае ВТП основное выделение смолистых веществ и канцерогенных ПАУ наблюдается в области температуры 700–800 °С [11, 12]. При более высоких температурах образование смолы и канцерогенных ПАУ практически не происходит. Известно также, что температурная область 700–800 °С соответствует наиболее ин-

ТАБЛИЦА 2

Выход смолистых веществ и канцерогенных ПАУ при замедленной и скоростной карбонизации анодных масс на основе СТП и ВТП

Массовая доля пе- ка, % (выборка)	Скорость нагрева, °С/мин	Массовая доля, % от анодной массы			
		Смола	БаА	БаП	ДБА
30.5 СТП (8)	1	1.3±0.6	0.05±0.02	0.008±0.003	0.002±0.001
27 ВТП (9)	1	1.0±0.2	0.06±0.02	0.012±0.005	0.002±0.001
37 СТП (3)	70	15.2±1.1	0.27±0.08	0.24±0.03	0.17±0.02
37 ВТП (5)	70	10.8±2.2	0.35±0.08	0.27±0.06	0.12±0.01

тенсивному образованию ароматических и полициклических ароматических углеводородов при термической деструкции каменных углей [18]. Поэтому можно предположить, что высокотемпературная область образования канцерогенных ПАУ характерна для любого углеводородного сырья, в том числе для анодных масс.

СКОРОСТНАЯ КАРБОНИЗАЦИЯ АНОДНЫХ МАСС

Как было отмечено выше, скоростная карбонизация подштырьевой анодной массы при перестановке штырей представляет собой один из источников выделения смолистых веществ. При перестановке штырей температура низа лунки составляет 700–850 °С и соответствует температурной области выделения наибольшего количества смолы и канцерогенных ПАУ при коксовании анодной массы. При скоростном нагреве анодных масс на основе ВТП наблюдается уменьшение выхода смолистых веществ по сравнению с АМСТП в 1.5 раза с некоторым увеличением содержания в них БаА и БаП (см. табл. 2).

Сравнение выхода продуктов замедленного и скоростного режимов нагрева анодных масс показывает, что при скоростном пиролизе на порядок увеличивается выход смолы, при этом выход канцерогенных ПАУ возрастает в 5–30 раз (см. табл. 2). Наблюдаемое увеличение выхода смолистых веществ согласуется с литературными данными о влиянии скорости нагрева на выход и состав летучих продуктов, в том числе смолистых веществ, в процессе термохимического превращения углеводородного сырья [5, 18–21].

Сравнение относительных концентраций (профилей) ПАУ в смолах карбонизации

(70 °С/мин) подштырьевой анодной массы на основе ВТП и СТП (рис. 1) показывает, что в продуктах карбонизации АМВТП по сравнению с АМСТП наблюдается более низкое содержание А+Ф, Фл, П, ДБА, ВП и более высокое содержание канцерогенных БаА и БаП.

Таким образом, лабораторные исследования показали, что при скоростном пиролизе АМСТП и АМВТП выходы смолистых веществ и канцерогенных ПАУ увеличиваются на порядок по сравнению с замедленным пиролизом. На основании этого можно утверждать, что наиболее значимым источником выброса в атмосферу канцерогенных ПАУ является открытая лунка, в которой происходит скоростная карбонизация подштырьевой анодной массы. Замена СТП на ВТП на этой стадии, так же, как и в случае формирования самообжигающегося анода, не приводит к снижению выхода канцерогенных ПАУ и соответственно к уменьшению канцерогенной опасности.

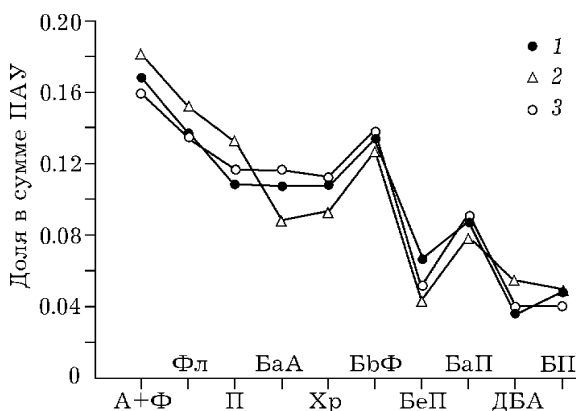


Рис. 1. Профили ПАУ смол экстракции пыли с рам корпуса 19 ОАО КрАЗ (1) и смол скоростной карбонизации (70 °С/мин) анодных масс, содержащих 37 % СТП (2) и ВТП (3) (выборка указана в табл. 2).

ОЦЕНКА СООТВЕТСТВИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ ДАННЫХ ПРОМЫШЛЕННЫМ УСЛОВИЯМ

При использовании полученных данных для оценки канцерогенной опасности производства алюминия в электролизерах Содерберга необходимо установить соответствие лабораторных данных промышленным условиям.

Известно, что ПАУ адсорбируются в основном на мелкодисперсной пыли. Показано, что 87.2 % смолистых веществ и 94.7 % ВаП находятся на частицах диаметром менее 0.8 мкм [22], при этом 60 % ВаП связано с частицами диаметром 0.075–0.26 мкм и 30 % – с более крупными частицами диаметром 0.26–2.0 мкм [23]. Наиболее устойчивыми к химической трансформации являются ПАУ, адсорбированные на саже и золе, причем для многих ПАУ существует зависимость между цветом адсорбирующей поверхности и периодом полупревращения под действием света. В частности, время полупревращения ПАУ увеличивается на 1–2 порядка при переходе от белого оксида алюминия к черной саже [23–27].

Исследование состава пыли, содержащейся в отходящих газах электролизеров корпуса 19 ОАО КрАЗ, где используется анодная масса на основе ВТП, показало, что пыль, выделяющаяся на стадии перестановки штырей, состоит в основном из углеродных частиц (сажи). Об этом свидетельствует практически полное (99 %) сторание образца пыли при прокаливании. Пыль в колокольных газах содержит 30–40 % углеродных частиц, остальную часть составляют фторсодержащие соли и оксид алюминия.

Таким образом, в реальных промышленных условиях основная доля смолистых веществ, содержащих канцерогенные ПАУ, выделяется не в газообразном, а в адсорбированном состоянии на поверхности дисперсных частиц, например сажи, глинозема. Поэтому оценку соответствия лабораторных данных промышленным условиям осуществляли путем сравнения профилей ПАУ лабораторных смол пиролиза анодных масс и смол экстракции промышленных пылей ОАО КрАЗ.

При технологической операции перестановки штырей выброс газов из открытой лунки происходит в воздушную среду корпуса

электролиза. Поэтому для определения профилей ПАУ смол скоростного пиролиза подштырьевой анодной массы на основе ВТП (массовая доля 37 %) использовали пыль с рам электролизеров корпуса 19 ОАО КрАЗ (см. рис. 1). Сравнение профилей ПАУ смол лабораторного пиролиза подштырьевой анодной массы на основе ВТП и пылей корпуса 19 показывает их практически полную идентичность. При этом относительное содержание канцерогенных ПАУ совпадает в пределах ошибки определения. Таким образом, лабораторные данные могут быть использованы для анализа канцерогенной опасности этой стадии производства алюминия.

Для оценки соответствия лабораторных данных промышленным условиям стадии замедленной карбонизации "сухой" анодной массы использовали пыль электрофильтров и циклонов, входящих в систему очистки колокольных газов ОАО КрАЗ. В корпусе 17, где используется "сухая" анодная масса с массовой долей СТП 30.5 %, пыль отбирали из электрофильтра при штатном функционировании электролизеров и системы газоочистки. В корпусе 19, где используется "сухая" анодная масса с массовой долей ВТП 27 %, пыль отбирали из циклонов при штатной работе всей системы.

Профили ПАУ смол лабораторной карбонизации (1 °С/мин) "сухих" анодных масс и смол экстракции пылей электрофильтра и циклона приведены на рис. 2. Полученные данные показывают, что профили ПАУ смол экстракции пыли, образующейся при карбонизации двух разных "сухих" анодных масс, практически совпадают. При этом пыли системы газоочистки корпуса 19, где используются анодные массы на основе ВТП, содержат более высокие концентрации высокомолекулярных ПАУ, в частности канцерогенных бенз(а)пирена и дибенз(а, h)антрацена. Не углубляясь в причины, отметим, что основное отличие профилей ПАУ промышленных пылей от таковых лабораторных смол замедленной (1 °С/мин) карбонизации анодных масс проявляется в более высоком содержании флуорантена, бенз(б)флуорантена и более низком содержании антрацена и фенантрена. Однако только в случае пыли циклонов корпуса 19 содержание канцерогенных ПАУ (ВаП,

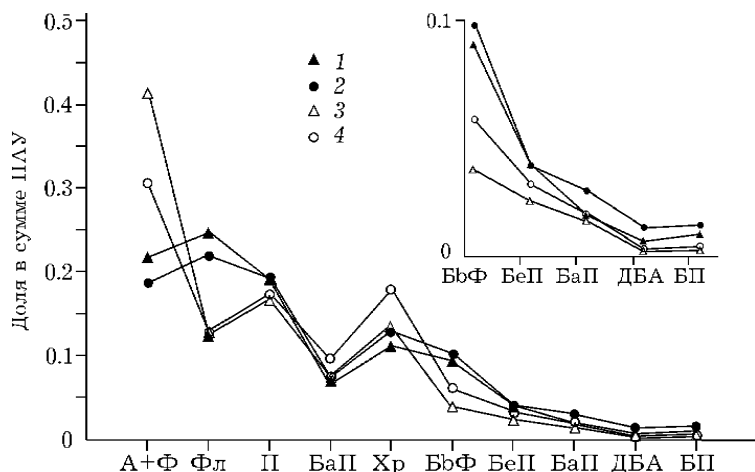


Рис. 2. Профили ПАУ смол экстракции пыли электрофильтров корп. 17 (1), пыли циклонов корп. 19 (2) системы газоочистки ОАО КраЗ и смол замедленной карбонизации (1 °С/мин) анодных масс, содержащих 30.5 % СТП (3) и 27 % ВТП (4) (выборка указана в табл. 2).

ДБА) несколько превышает их концентрации в обоих лабораторных образцах и пыли электрофильтров корпуса 17. Следовательно, лабораторные данные могут служить для оценки нижней границы канцерогенной опасности этой стадии производства алюминия.

ОЦЕНКА КАНЦЕРОГЕННОЙ ОПАСНОСТИ ОСНОВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ

Определение канцерогенной опасности основных техногенных источников ПАУ в производстве алюминия в электролизерах Содерберга с верхним подводом тока проводили по методике [28] сопоставлением удельного выхода смолистых веществ и канцерогенных ПАУ (BaA, BaP, ДБА). Данная методика позволяет использовать технологические показатели расхода анодных масс, эффективнос-

ти всех аппаратов системы газоочистки, степени герметичности колокола электролизера, а также результаты лабораторных исследований карбонизации пеков и анодных масс на их основе.

Рассчитанные значения удельного выхода смолистых веществ и канцерогенных ПАУ из основных источников при использовании анодных масс на основе СТП и ВТП представлены в табл. 3. Видно, что замена СТП на ВТП в производстве алюминия приводит к снижению выхода смолистых веществ из всех локальных источников. Однако при этом выход ДБА практически не изменяется, а выход BaA и BaP в случае использования ВТП несколько выше (за исключением утечки BaA из-под колокола). Таким образом, канцерогенная опасность производства алюминия в электролизерах Содерберга при переходе на вы-

ТАБЛИЦА 3

Удельный выход смолы и канцерогенных ПАУ от основных источников техногенных отходов ОАО КраЗ при использовании анодных масс на основе СТП и ВТП, кг/т Al

Техногенные выбросы	А М С Т П				А М В Т П			
	Смола	BaA	BaP	ДБА	Смола	BaA	BaP	ДБА
Из лунки	2.1	0.038	0.034	0.024	1.5	0.049	0.037	0.017
Утечка из-под колокола	1.2	0.046	0.007	0.002	0.6	0.036	0.007	0.002
Система газоочистки:								
мокрая	0.9	0.035	0.006	0.001	0.8	0.048	0.009	0.0016
сухая					0.1	0.006	0.002	0.0002

Примечание. Массовая доля СТП в "сухой" анодной массе 30.5 % (расход 555 кг/т Al), ВТП - 27 % (расход 529 кг/т Al), в подштырьевой - 37 % (расход 14 кг/т Al).

сокотемпературный пек остается неизменно высокой по сравнению с технологией обожженных анодов.

Приведенные результаты показывают также, что наиболее опасным локальным источником канцерогенных ПАУ является выброс из открытой лунки на технологической стадии перестановки штырей, который составляет 60–80 % от общих выбросов в атмосферу. В частности, при использовании анодной массы на основе ВТП удельный выход БаП из лунки составляет 0.037 кг/т Al при суммарном выходе БаП в атмосферу (из лунки, утечка из-под колокола, выход системы "сухой" газоочистки) 0.046 кг/т Al (см. табл. 3). При оценке экологической опасности производства алюминия по технологии Содерберга этот источник не учитывается. В частности, можно отметить, что рассчитанный суммарный удельный выход смолы при использовании анодной массы на основе СТП без учета выброса из лунки составляет 2.1 кг/т Al (см. табл. 3), что соответствует отчетным данным ОАО КраЗ (2.09 кг/т Al) [1, 3]. Удельный выход смолы в системе "сухой" газоочистки и утечке из-под колокола без учета выбросов из лунки при использовании ВТП составляет 0.7 кг/т Al (см. табл. 3), что достаточно хорошо согласуется с данными проекта КраЗ – Kaiser – ВАМИ (0.39–0.65 кг/т Al) [3, 4]. Некоторое снижение суммарного выхода канцерогенных ПАУ в проекте КраЗ – Kaiser – ВАМИ объясняется использованием "сухой" системы очистки колокольных газов, а не заменой среднетемпературного пека на высокотемпературный.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследования замедленной и скоростной карбонизации анодных масс на основе ВТП и СТП показано, что выход канцерогенных ПАУ (БаА, БаП и ДБА) остается постоянным при замене СТП на ВТП. Показано также, что выход смолистых веществ в процессе карбонизации пеко-коксовых композиций не может служить достоверным критерием оценки канцерогенной опасности. В качестве такового можно использовать удельные выходы канцерогенных ПАУ.

Установлено, что при скоростной карбонизации анодных масс выход смолистых веществ и канцерогенных ПАУ увеличивается примерно в 10 раз по сравнению с карбонизацией в замедленном режиме. На основании этого выделен наиболее значимый источник канцерогенной опасности производства алюминия в электролизере Содерберга, вклад которого в атмосферные выбросы канцерогенных ПАУ составляет 60–80 %. Этим традиционно не учитываемым источником является технологическая операция перестановки токоподводящих штырей. Удельные выходы БаА, БаП и ДБА составляют 38–49, 34–37 и 17–24 г/т Al соответственно.

Определен удельный выход смолистых веществ, БаА, БаП и ДБА из основных источников ПАУ производства алюминия в электролизерах Содерберга с верхним подводом тока при использовании анодных масс на основе СТП и ВТП. Показано, что по сравнению с СТП использование ВТП в составе анодных масс приводит к значительному снижению удельного выхода смолистых веществ из всех источников, при этом удельный выход БаП и других канцерогенных ПАУ практически не меняется. Замена СТП на ВТП в производстве алюминия по технологии Содерберга не сказывается на высоком уровне канцерогенной опасности этого производства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Ю. А. Журавлев, М. П. Петухов, *Цв. металлы*, 5 (1998) 53.
- 2 A. A. Mirtchi, A. L. Proulx, L. Castonguay, *Light metals*, (1995) 601.
- 3 В. Ю. Бузунов, *Цв. металлы*, 5 (1998) 58.
- 4 J. A. Johnson, S. V. Lobachev, *Light Metals*, (1998) 721.
- 5 В. Е. Привалов, М. А. Степаненко, *Каменноугольный пек*, Металлургия, Москва, 1981.
- 6 S. S. Jones, in J. V. Bacha, J. W. Newman, J. L. White (Eds.), *Petroleum-Derived Carbons*, Amer. Chem. Soc., Washington, DC, 1986, p.234.
- 7 А. Г. Гриншпуг, *Химия твердого топлива*, 5 (1997) 67.
- 8 М. Г. Белоусов, Э. Я. Янко, В. Д. Лазарев, А. Д. Соколов, *Цв. металлы*, 1 (1983) 48.
- 9 Н. Н. Сертаков, А. И. Александров, О. Ю. Лазаренко, *Там же*, 6 (1998) 41.
- 10 В. А. Коптук, А. Г. Аншиц, В. И. Савинов и др., *Химия в интересах устойчивого развития*, 5 (1997) 553.
- 11 А. Г. Аншиц, А. Р. Суздорф, Л. И. Куртеева и др., *Там же*, 6 (1998) 41.
- 12 А. Г. Аншиц, В. И. Савинов, А. Р. Суздорф и др., *Цв. металлы*, 10–11 (1998) 68.

- 13 T. D. Jones, P. G. Walsh, A. P. Watson *et al.*, *Risk Analysis*, 8 (1988) 99.
- 14 E. J. Sprindles, *Organohalogen Compounds*, 30 (1996) 7.
- 15 L. Szentpaly, *J. Amer. Chem. Soc.*, 106 (1984) 6021.
- 16 П. Н. Дьячков, *Итоги науки и техники, Сер. Токсикология*, ВИНТИ, Москва, 1990, вып. 16, с. 38.
- 17 Б. А. Курляндский, С. М. Новиков, *Токсикологический вестник*, 1 (1998) 2.
- 18 А. Н. Чистяков, *Химия и технология переработки каменноугольных смол*, Metallurgia, Челябинск, 1990.
- 19 С. В. Корнеев, Н. Ю. Бейлина, С. В. Островский и др., *Химия твердого топлива*, 1 (1985) 112.
- 20 В. Г. Касперский, М. В. Федотов, Там же, 4 (1984) 103.
- 21 M. A. Elliott (Ed.), *Chemistry of Coal Utilization, Secondary Supplementary Volume*, Wiley, New York, 1981.
- 22 Г. П. Ильинская, П. П. Дикун, Ю. Б. Алексеев, В кн.: *Растения и химические канцерогены*, Под ред. Э. И. Слепян, Наука, Ленинград, 1979, с.176.
- 23 D. A. Lane, in T. Vo-Dinh (Ed.), *Chemical Analysis of Polycyclic Aromatic Compounds*, J. Wiley & Sons, New York, 1989, p.31.
- 24 T. D. Behmer, R. A. Hites, *Environ. Sci. Technol.*, 19, 10 (1985) 1004.
- 25 R. A. Yokley, A. A. Garrison, E. L. Wehry, G. Mamantov, *Ibid.*, 20, 1 (1986) 86.
- 26 W. A. Konfmacher, D. F. S. Natusch, D. R. Taylor *et al.*, *Science*, 207 (1980) 763.
- 27 T. D. Behmer and R. A. Hites, *Environ. Sci. Technol.*, 22, 11 (1988) 1311.
- 28 Методика расчета выбросов загрязняющих веществ в атмосферу в цехах электролитического производства алюминия на электролизерах с верхним подводом тока, ВАМИ, Ленинград, 1988.