

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт цветных металлов и материаловедения

Кафедра металлургии цветных металлов

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель магистерской
программы д-р хим. наук,
профессор

_____ Н.В. Белоусова

« _____ » _____ 2020 г.

Магистерская диссертация

22.04.02.02 «Металлургия цветных металлов»

Исследование влияния свойств фракции "пыль" на повышение качества анодной массы и
расход анода при электролизе

Научный руководитель _____ к.т.н., доцент А.И. Безруких
подпись, дата должность, ученая степень

Выпускник _____ И.А. Шадрин
подпись, дата

Рецензент _____ начальник ОПАМ ДТиТРАП С.Г. Стародубов
подпись, дата НКАЗ ООО «РУСАЛ ИТЦ» должность, место работы

Консультант экономического _____ к.э.н., доцент Т.В. Твердохлебова
раздела подпись, дата должность, ученая степень

Красноярск 2020

АННОТАЦИЯ

Тема магистерской диссертации – «Исследование влияния свойств фракции "пыль" на повышение качества анодной массы и расход анода при электролизе». Диссертация представлена в объеме 86 страниц, включает в себя 17 таблиц, 32 иллюстрации, 14 формул, а также список использованной литературы, состоящий из 50 источников.

Ключевые слова: АНОДНАЯ МАССА, УДЕЛЬНАЯ ПОВЕРХНОСТЬ ПЫЛИ, ЧИСЛО БЛЕЙНА, АСПИРАЦИОННАЯ ПЫЛЬ, ЭЛЕКТРОЛИЗЕР СОДЕРБЕРГА.

Цель: поиск путей улучшения качества анодной массы за счет стабилизации значений удельной поверхности пыли в пределах $4400 \pm 400 \text{ см}^2/\text{г}$.

Задачи: 1) провести анализ научно-технической литературы; 2) провести эксперимент по изменению тонины помола и удельной поверхности сортовой пыли в зависимости от производительности питателей шаровых мельниц; 3) провести эксперимент по дозированному смешиванию аспирационной пыли с мельничной; 4) Провести эксперимент по изменению удельной поверхности пыли в зависимости от давления сжатого воздуха на выдувке аспирационной пыли; 5) провести анализ полученных результатов, на их основе скорректировать технологию производства анодной массы.

Основные выводы и результаты исследования:

1. Стабилизация значений числа Блейна приводит к улучшению свойств анода в процессе электролиза алюминия
2. Среднее значение удельной поверхности пылевой фракции составило $4399 \text{ см}^2/\text{г}$, а ее стандартное отклонение - $437 \text{ см}^2/\text{г}$;
3. Среднее значение удельного расхода анода при электролизе алюминия составило $522,6 \text{ кг}/\text{тAl}$;
4. При изменении расхода анодной массы на $1 \text{ кг}/\text{тнAl}$ себестоимость на производство алюминия-сырца изменится на $338,7 \text{ руб}$.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1 АНОДЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА АЛЮМИНИЯ.....	6
1.1 Процессы, протекающие на аноде при электролизе	6
1.2 Формирование самообжигающегося анода.....	11
1.3 Влияние пылевой фракции на свойства анода.....	16
ГЛАВА 2 ОБОРУДОВАНИЕ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	Error! Bookmark not defined.
2.1 Технология производства анодной массы.....	Error! Bookmark not defined.
2.1.1 Подготовка пека	Error! Bookmark not defined.
2.1.2 Сушка кокса	Error! Bookmark not defined.
2.1.3 Подготовка шихты	Error! Bookmark not defined.
2.1.4 Смешение анодной массы	Error! Bookmark not defined.
2.2 Методы исследования	Error! Bookmark not defined.
2.2.1 Определение гранулометрического состава коксовой шихты	Error! Bookmark not defined.
2.2.2 Определение удельной поверхности пыли.....	Error! Bookmark not defined.
2.2.3 Определение коэффициента текучести анодной массы	Error! Bookmark not defined.
2.2.4 Определение кажущейся плотности анодной массы ...	Error! Bookmark not defined.
2.2.5 Статистический анализ данных	Error! Bookmark not defined.
ГЛАВА 3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ.....	Error! Bookmark not defined.
3.1 Изменение свойств сортовой пыли в зависимости от производительности питателей шаровых мельниц	Error! Bookmark not defined.
3.2 Изменение удельной поверхности пыли в зависимости от давления сжатого воздуха на выдувке аспирационной пыли	Error! Bookmark not defined.
3.3 Дозированное смешивание аспирационной пыли с мельничной.	Error! Bookmark not defined.
ГЛАВА 4 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	Error! Bookmark not defined.
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	Error! Bookmark not defined.
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	Error! Bookmark not defined.

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день алюминий является одним из основных конструктивных материалов. По объемам потребления алюминий занимает второе место, уступая лишь стали. Спрос на него продолжает расти высокими темпами. Алюминий нашел применения во многих отраслях промышленности (транспорт, строительство, энергетика, пищевая промышленность и др.). Для производства алюминия необходимо последовательное выполнение следующих операций и процессов:

- добыча бокситных руд;
- производство глинозёма из бокситных руд;
- производство анодов и анодной массы;
- производство фтористых солей (криолита, фторидов алюминия и натрия);
- электролиз алюминия;
- получение готовой продукции посредством литья.

В нынешних экономических условиях цена на готовую продукцию зависит от биржевой цены на алюминий. Поэтому для получения дополнительной прибыли необходимо снижать себестоимость производства и повышать качество продукции.

Актуальность данного исследования заключается в том, что отклонения параметров пыли при производстве анодной массы влекут за собой повышенную осыпаемость анода в процессе электролиза алюминия и приводят к дополнительному расходу анодной массы. Основной причиной отклонений является различие свойств мельничной и аспирационной пыли, которые неконтролируемо смешиваются в циклоне и идут на производство анодной массы. Так, удельная поверхность аспирационной пыли в несколько раз выше, чем у мельничной (удельная поверхность мельничной пыли $3000 \text{ см}^2/\text{г}$, аспирационной - $8000 \text{ см}^2/\text{г}$), поэтому изменение их соотношения приводит к нестабильности пластических свойств выпускаемой анодной массы и снижению качества формирования анодов.

Целью данной выпускной квалификационной работы является поиск путей улучшения качества анодной массы за счет стабилизации значений удельной поверхности пыли в пределах $4400 \pm 400 \text{ см}^2/\text{г}$

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие поставленные задачи:

1. Провести анализ научно-технической литературы;
2. Провести эксперимент по изменению тонины помола и удельной поверхности сортовой пыли в зависимости от производительности питателей шаровых мельниц;
3. Провести эксперимент по дозированному смешиванию аспирационной пыли с мельничной. Определение рационального процентного соотношения фильтровой пыли с мельничной, обеспечивающего снижение количества отклонений по удельной поверхности пыли;
4. Провести эксперимент по изменению удельной поверхности пыли в зависимости от давления сжатого воздуха на выдувке аспирационной пыли;
5. Провести анализ полученных результатов, на их основе скорректировать технологию производства анодной массы

При решении задач будут использованы следующие методы исследования:

1. Статистический анализ данных (свойств пыли, анодной массы, показателей электролиза);
2. Создание модели для своевременного реагирования на изменение тонины помола пыли путем изменения производительности питателей шаровых мельниц;
3. Определение удельной поверхности пыли методом воздухопроницаемости;
4. Определение гранулометрического состава коксовой шихты;
5. Определение пластичности анодной массы методом определения деформации поперечного сечения образца анодной массы после его нагревания.

ГЛАВА 1 АНОДЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА АЛЮМИНИЯ

1.1 Процессы, протекающие на аноде при электролизе

Производство алюминия осуществляется в электролизерах. Глинозем растворяется в расплавленном криолите приблизительно при 960°C [1]. Большой ток при малом напряжении постоянного тока проходит через аноды, которые погружены в электролит, затем – через слой расплавленного алюминия, далее – через катод.

В настоящее время используется два вида анодов – обожженные аноды и аноды Содерберга [2]. Обожженные аноды производятся из смеси 50-65% нефтяного кокса, 14-17% каменноугольного пека (в качестве связующего) и 15-30% рециркулируемых анодных огарков. Из данной смеси формируются блоки, которые затем обжигаются в специализированных печах обжига анодов при температуре около 1100°C [3]. Так как углерод, из которого состоит анод, является одним из компонентов вступающим в реакции в процессе электролитического разложения глинозема и получения алюминия и расходуется с течением времени. В связи с этим обожженные аноды приходится регулярно заменять, как правило, через 22-26 дней, когда они становятся в три-четыре раза меньше по размеру, чем были изначально. Остающиеся анодные огарки очищаются, разрушаются и используются в качестве сырья для производства новых анодов [4]. Электролизер с обожженными анодами в разрезе представлен на рисунке 1.

Аноды Содерберга – самообжигающиеся аноды непрерывного действия, что, в принципе, является преимуществом. Брикеты из анодной массы, состоящие из нефтяного кокса и каменноугольного пека (около 25 %), подаются с верхней части анода. По мере того, как анод расходуется у рабочей поверхности, анодная масса продвигается вниз по стальному кожуху и спекается при прохождении горячей части анода. Максимальная температура самообжига - от 950 до 980 °C [5]. Электролизер с самообжигающимся анодом в разрезе представлен на рисунке 2.

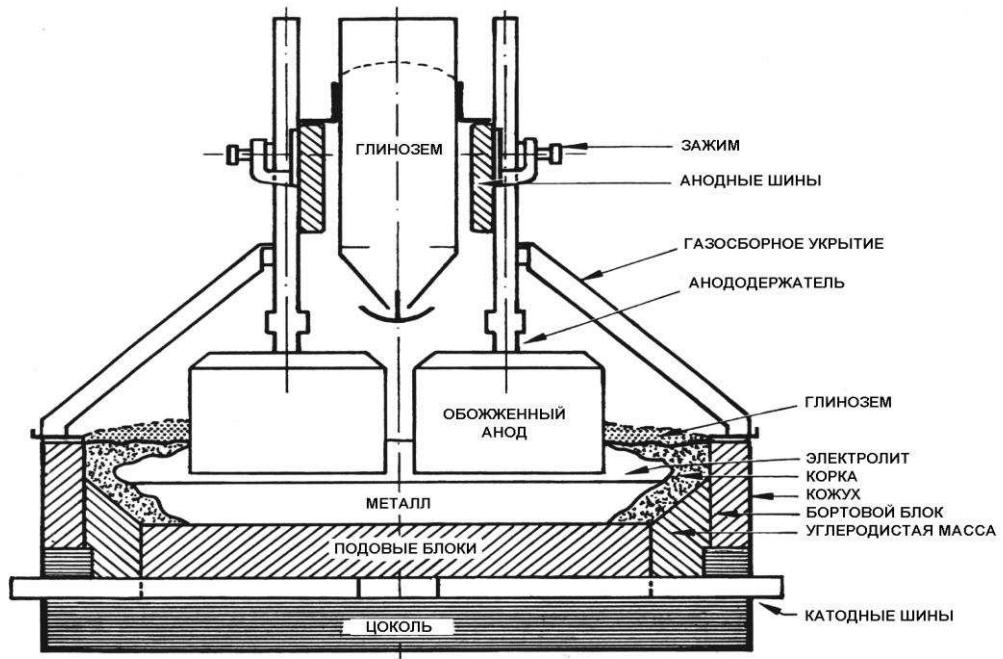


Рисунок 1 - Электролизер с обожженными анодами в разрезе

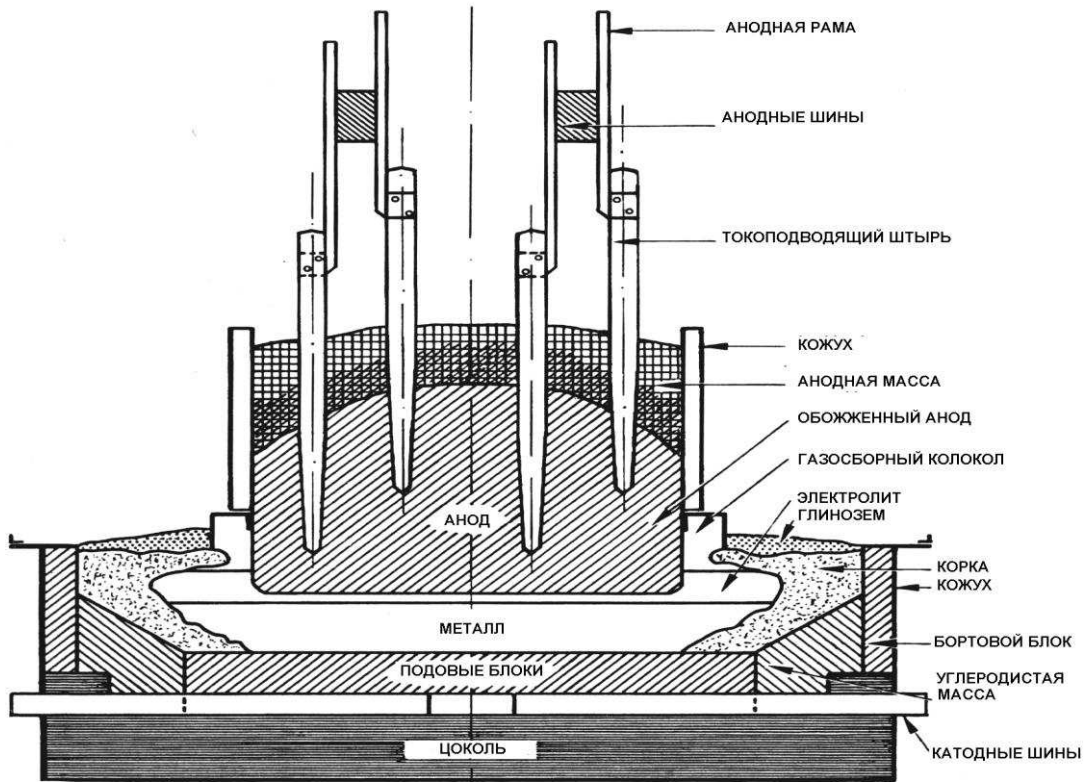


Рисунок 2 - Электролизер с самообжигающимся анодом в разрезе

Процесс электролиза происходит в слое расплавленного электролита между анодом и расплавленным металлом. Основными компонентами электролита являются криолит (Na_3AlF_6), фторид алюминия (AlF_3). В действительности, состав электролита более сложен. В нем всегда присутствует 2–3% фторида кальция, поступающего в электролизер как примесь в исходных материалах (в глиноземе, криолите, фториде алюминия, анодах и др.). Кроме того, CaF_2 иногда специально вводят в ванну для понижения температуры плавления электролита и уменьшения потерь алюминия. Для этих же целей, наряду с фторидом кальция, применяются добавки фторида магния. Ионы алюминия восстанавливаются до металла, накапливающегося на подине, а ионы кислорода взаимодействуют с анодом, приводя к образованию углекислого газа [6]. Данный процесс выражается реакцией:



Углеродные аноды предназначены для выполнения двух задач: обеспечение переноса электрического тока к электролизеру и для выполнения функций восстановителя при электрохимическом процессе, т.е. преобразовании глинозема в алюминий. Аноды представляют собой смесь твердого углеродистого материала (кокса) и связующего (пека) [7]. К анодам предъявляются следующие требования:

- 1) высокая стойкость к окислению, позволяющая минимизировать избыточный расход анода;
- 2) высокая плотность и, как следствие, малое пенообразование;
- 3) высокая механическая прочность, обеспечивающая структурную целостность;
- 4) высокая чистота, исключая загрязнение алюминия и уменьшающая расход анода;
- 5) высокое сопротивление термоудару.

Реакции, протекающие в электролизере, вносят вклад в расход анода. Реакции, которые не связаны с восстановлением алюминия, определяют избыточный расход анода, который не выгоден экономически и наносит вред

окружающей среде [8]. Схема распределения температуры и факторов, влияющих на расход анода в электролизере, представлена на рисунке 3. Выделяют 3 главных фактора избыточного расхода анода:

- 1) окисление углерода анода воздухом;
- 2) взаимодействие с CO_2 ;
- 3) селективное окисление (пенообразование, осыпание).

Исходя из основной электрохимической реакции электролизной ванны (уравнение 1), минимальный теоретический расход углерода составляет 0,334 кг/кгAl [9]. Однако, так как КПД тока ванны всегда меньше 100%, практический расход при электролизе выше - как правило, от 0,35 до 0,41 кг/кгAl.

Кислород, выделяемый как промежуточный продукт при распаде оксида алюминия (Al_2O_3), притягивается к аноду. Однако он немедленно вступает в реакцию с угольными анодами и образует газообразный диоксид углерода (CO_2):

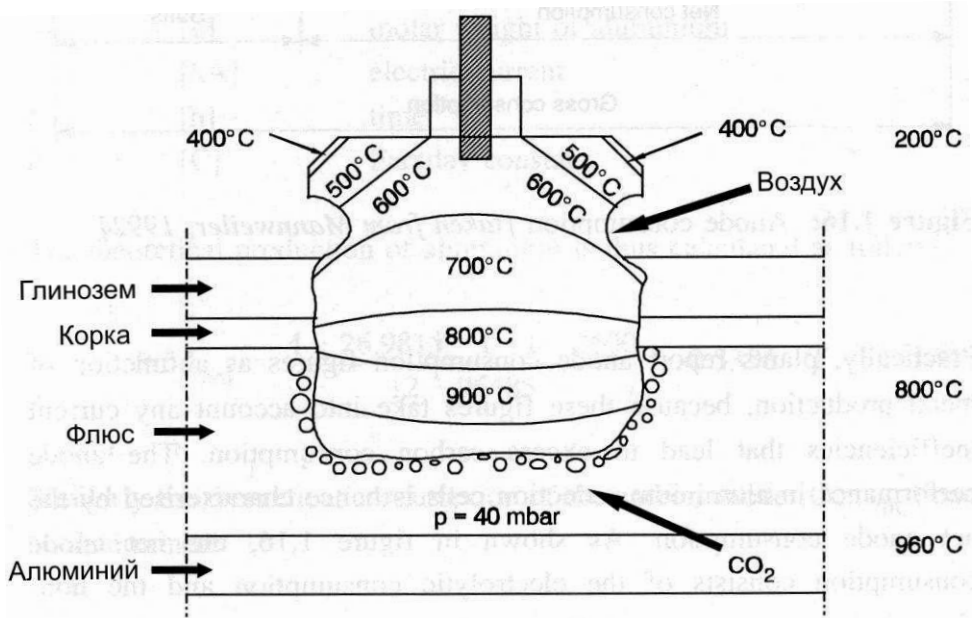
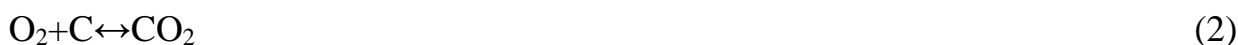


Рисунок 3 - Схема распределения температуры и факторов, влияющих на расход анода в электролизере

Реакция кислородной газификации значительно проявляется при температуре 300-400°C, но при 400°C ее скорость остается умеренной. При температурах 430-530°C обычные анодные коксы воспламеняются, и скорость газификации зависит от количества доступного кислорода [10]. Из-за ограниченного доступа воздуха, реакция происходит только на оголенных частях обожженных анодов (сверху и выше корки) и под газосборным колоколом анода Содерберга. Температура верхней части обожженных анодов, как правило, находится в диапазоне, в котором процесс контролируется химическими реакциями. Под газосборным колоколом анода Содерберга температура настолько высока, что происходит перенос масс, т.е. скорость реакции определяется скоростью подачи воздуха.

Углерод вступает в реакцию с CO₂ и образует оксид углерода (реакция Белла-Будуара):



В электролизных ваннах газификация CO₂ начинает играть роль при температуре, приближенной к рабочей температуре ванны. Однако в процессе электролиза реакция анода блокирует рабочую поверхность, что не позволяет осуществиться реакции Будуара. По достижении определенной плотности тока, поверхность занята комплексами С-О, формируемыми при выделении атомов кислорода (анодная реакция). Свободное пространство, необходимое для осуществления реакции Будуара, отсутствует [11]. Однако, CO₂, образующийся на поверхности анода, проникает через поры и газифицирует доступный углерод внутри анода. Реакция газификации может также проходить на вертикальных стенках анода, над уровнем электролита. Однако скорость реакции достаточно сильно зависит от температуры, а значит, реакция быстрее всего протекает около электролита, где температура выше всего.

Различная реакционная способность связующего пека и частиц кокса приводит к селективной газификации связующей фазы, ослабляя структурные связи, в результате чего частицы наполнителя либо отделяются, либо выталкиваются под воздействием механических, тепловых или магнитных сил.

Более высокая реакционная способность связующей фазы объясняется менее упорядоченной структурой, поскольку температура обжига анода несколько ниже, чем температура при обжиге наполнителя. В результате образуется большая удельная площадь поверхности пека, что предположительно и оказывает существенное влияние. Существует предположение о том, что концентрация примесей на границе раздела связующее/наполнитель может способствовать селективному горению [12]. Схема селективного горения представлена на рисунке 4.

Такой механизм потерь углерода известен под названием «пенообразование» или «отслаивание углерода» и характеризуется наличием свободных частиц, которые не участвовали в электролизе и всплыли на поверхность электролита. Такое пенообразование приводит к ухудшению показателей работы завода за счет:

- повышения эксплуатационных затрат из-за повышенного расхода углерода;
- снижения выхода по току из-за повышения температуры электролизера;
- повышения частоты анодных эффектов за счет снижения скорости подачи глинозема;
- повышения расходов на переработку угольной пены;
- повышение эксплуатационных затрат в результате потерь электролита при удалении пены.

1.2 Формирование самообжигающегося анода

Анод Содерберга состоит из 3 характерных частей:

- 1) коксопечковая композиция (верхний слой)
- 2) зона полукокса (средний слой)
- 3) зона кокса (нижний слой)

Схема распределения зон анода Содерберга представлена на рисунке 5.

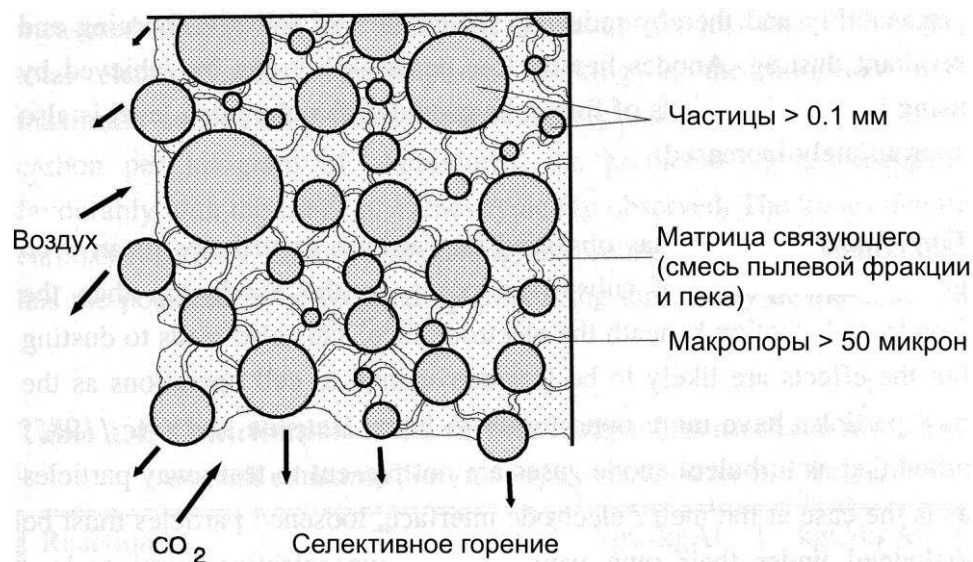


Рисунок 4 - Схема селективного горения

На поверхности анода располагается слой размягчённой анодной массы высотой 35-40 см в центре и 60-80 см по периферии (в производственной практике этот слой называют «коксопековой композицией» или сокращенно КПК) [13]. Эта зона ограничена поверхностью анода и снизу линией изотермической стабильности температуры в диапазоне 400-450°С., что в данном случае понимается как линия равных температур, проходящая по сечению анода. Как указывалось выше, верхний слой массы выполняет функции подготовки связующего к коксованию. Одновременно через слой расплавленной анодной массы происходит фильтрация дистиллятов из нижних слоёв и поглощение углерода из парогазовой смеси.

При малых уровнях расплавленной анодной массы и высокой температуре её поверхности значительная часть продуктов коксования прорывается через верх анода, унося с собой большое количество легкокипящих смол. Это приводит к потере части углерода, увеличивает расход анодной массы и загрязняет воздушную среду в корпусах электролиза.

В нижних слоях расплавленной анодной массы происходит процесс высокотемпературных превращений в пеке. Скорость этих превращений относительно невелика, особенно при низких температурах (300-320°); при

повышении температуры до 380-400°C интенсивность процесса отгонки легких фракций и уплотнения пека значительно возрастает [14].

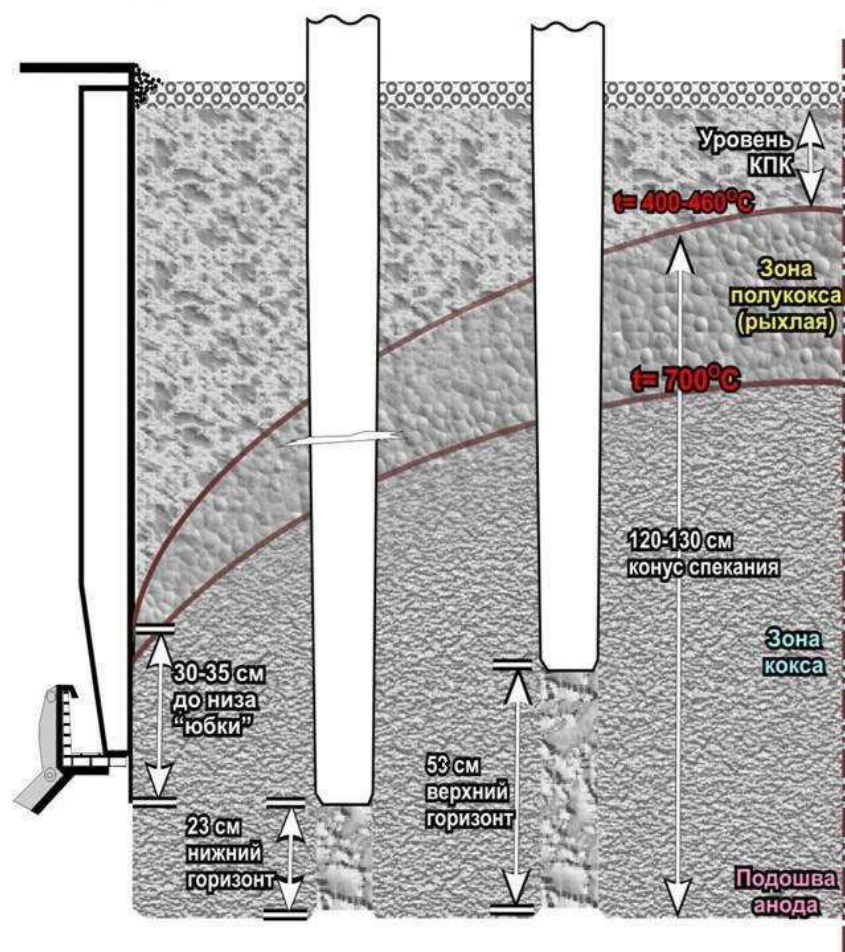


Рисунок 5 - Схема распределения зон анода Содерберга

Условия термических превращений связующего существенно зависят от высоты слоя анодной массы. Результаты исследований показывают, что наиболее значительное влияние уровня КПК наблюдается в пределах до 30 см.

Влияние уровня КПК на качество анода объясняется несколькими факторами. Во-первых, гидростатическое давление столба расплавленной анодной массы должно быть по возможности большим для выдавливания из зоны коксования пузырьков газа и затекания в поры и трещины связующего. Во-вторых, чем больше слой жидкой фазы, тем сильнее сопротивление выходу летучих продуктов коксования через верх анода и меньше потери углерода. В-

третьих, при увеличении уровня КПК пропорционально снижается температура её поверхности и соответственно возрастает вязкость.

В результате расслоения нижние слои КПК обогащаются крупными зёрнами кокса и содержат значительно меньшее количество связующего, чем верхние. При этом происходит слоистое спекание анода. Вначале спекается слой, обедненный связующим, и образует пористый, легко поддающийся окислению анод. Затем спекается слой, обогащенный связующим и пылевой фракцией кокса, с образованием трещин в аноде [15]. Поскольку линейная усадка этих слоёв различна, можно ожидать их отслоение ближе к подошве анода.

Существенное влияние на расслоение анодной массы оказывает её гранулометрический состав: недостаток пылевой фракции или недостаточная дисперсность пыли способствуют расслоению. Пылевая фракция повышает вязкость связующего материала и препятствует оседанию крупных зёрен.

Зона полукокса сверху ограничена линией изотермической стабильности температуры в диапазоне 400-450°C (поверхностью конуса спекания) и снизу линией изотермической стабильности температуры 700°C. В этой зоне формируется первичная структура – полукокс и происходит наиболее интенсивное, особенно в интервале 400-500°C, удаление летучих продуктов коксования, преимущественно смол [16]. В них содержится порядка 86-92% углерода и 4,5-7,5% водорода. При температуре 650°C смолистые вещества практически полностью расщепляются, а образующийся при этом углерод откладывается в порах анода, повышая его плотность.

При благоприятных условиях обжига практически все смолистые вещества и летучие вещества не теряются из зоны коксования, а перерабатываются с выделением пиролитического углерода. Источником потерь углерода служат утечки части смол и газов коксования через боковую поверхность под колокол.

Зона полукокса является наиболее ответственной за поддержание оптимальной скорости спекания анодной массы. При минимальной скорости

нагрева в процесс коксования достаточно полно вовлекается углерод смол и газов коксования. При быстром коксовании парогазовые продукты создают повышенное давление и быстро удаляются из зоны коксования.

С практической точки зрения имеет значение высота зоны коксования или, точнее, положение линии изотермической стабильности температуры 700°C. Так, при глубоком погружении анода в шахту, во время горячего хода электролизёра и разогрева анода линия изотермической стабильности температуры поднимается, высота зоны коксования снижается, и анодная масса проходит её за более короткий промежуток времени. При этом скорость коксования возрастает. С другой стороны, высоту зоны коксования нельзя беспредельно увеличивать, т.к. она жестко ограничена высотой анодного кожуха и длиной токоподводящего штыря.

Зона кокса (нижняя зона) ограничена линией изотермической стабильности температуры 700°C и нижней поверхностью (подошвой) анода. При 800-850°C происходит практически полное удаление летучих веществ и завершается переход полукокса в кокс. При 800-850° происходит полное разложение газообразных углеводородов при высокой температуре без доступа кислорода с образованием водорода и пиролитического углерода. Вторичный (пиролитический) углерод откладывается в порах и трещинах анода, а покидающий зону кокса газ коксования состоит преимущественно из водорода.

Тем не менее, содержание водорода в газовой фазе снижается по направлению к подошве от 45-50 % до 0,5-1%, а содержание метана от 15-20% до 0,5%. Это объясняется уходом их за боковую поверхность анода и разбавлением анодными газами, проникающими из рабочей зоны за счет фильтрации через подошву анода.

Анодные газы вступают во взаимодействие с углеродом, что приводит к потере углерода и увеличению пористости анода. Уменьшения фильтрации анодного газа можно достигнуть при работе с анодами, имеющими максимальную плотность.

[Изъято 2 страницы]

Загрузка анодной массы должна быть равномерной по всей поверхности анода. Недопустимо загружать анод только по центру, т.к. это приведет к выдавливанию пека на периферию анода и нарушению структуры боковой поверхности анода. При подъеме анодной рубашки это может вызвать протек пека под газосборный колокол [19].

1.3 Влияние пылевой фракции на свойства анода

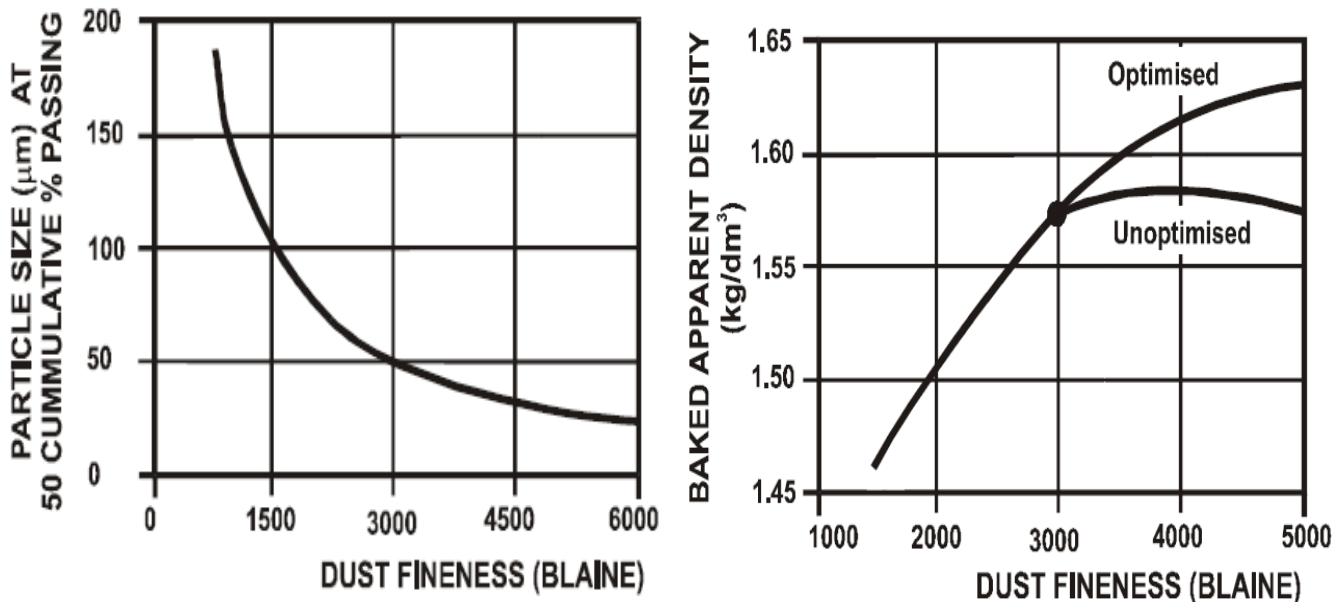
В производстве анодов для алюминиевых электролизеров первичную роль играет увеличение анодной плотности с заполнением пустот и пробелов между более крупными взвешенными частицами. На эту фракцию приходится более 90% общей агрегатной поверхности, и она в значительной мере определяет необходимое оптимальное количество пека. Такие пылепекковые композиции заполняют пустоту между более крупными частицами и являются связующим материалом между этими частицами. Следовательно, правильно подобранный гранулометрический состав коксовой шихты и процент связующего пека, важен для производства качественных анодов.

В работе Швейцарских исследователей Кристины Халс, Рэймонда Перручуда, Вернера Фишера и Барри Велша «Адаптация процесса для получения более тонких фракций пыли» [20], было изучено влияние свойств пылевой фракции при производстве анодов на качество выпускаемой продукции. В рамках исследования был проведен эксперимент по выпуску анодной массы с более тонкой фракции пыли (числом Блейна выше 3000). Для начала исследователями был проведен анализ пылевых компонентов. Ситовой анализ пыли разбивает ее на следующие фракции: +0,2мм; -0,2мм+0,071мм и -0,071мм. Недостатком данного анализа является тот факт, что он не оценивает распределение по фракциям меньше 0,071мм, которые могут оказывать существенное влияние на характеристики анода. Поэтому основным показателем, определяющим тонину помола пыли, было выбрано число Блейна, которое отражает удельную площадь поверхности мелких частиц. В ходе

анализа было выявлено, что чем больше значение числа Блейна, тем меньше размер частиц пыли и, следовательно, более высокая площадь поверхности. График зависимости размера частиц пыли от значения числа Блейна представлен на рисунке 7а.

Также увеличение числа Блейна способствует увеличению истинной плотности анода. Это связано с тем, что более мелкие частицы будут лучше заполнять пустоты в теле анода, тем самым снижая реактивную способность анода в воздухе и его потребление в процессе электролиза алюминия. График зависимости истинной плотности анода от значения числа Блейна представлен на рисунке 7б. Стоит отметить, что увеличение числа Блейна свыше 5000 не дает существенных преимуществ.

Испытания показали, что при увеличении тонкости пыли снижается пропускная способность шаровых мельниц вследствие меньших масс более мелких частиц пыли.



а
б
Рисунок 7 – Влияние числа Блейна

а - на размер частиц пыли; б - на истинную плотность анода

В работе бразильских исследователей «Использование более тонкой мелочи при изготовлении анодов на предприятии Alumag», основным

показателем, определяющим тони́ну помола пыли, также было выбрано число Блейна. В данной работе команда исследователей изучала изменение свойств анода при изменении числа Блейна для пылевой фракции с 4000 до 4400. Для этого были изменены технологические параметры для шаровой мельницы и воздушного классификатора. Шаровая мельница была модифицирована так, чтобы выдерживать увеличение объёма шаров за счёт подвода большего количества электроэнергии. Работа использовавшегося воздушного классификатора была изменена таким образом, чтобы избежать механических изменений конструкции [21]. В результате эксперимента, данной группе исследователей, равно как и предыдущей, удалось установить рост истинной плотности при повышении числа Блейна. Так значение истинной плотности анодной массы при одинаковом содержании пека увеличилось на 0,9% по сравнению с исходным составом пылевой фракции. Зависимость истинной плотности анодной массы от значения числа Блейна и процентного содержания пека представлена на рисунке 8. Вдобавок к вышесказанному они установили, что при повышении тонкости пыли на каждые 1000 Блейн следует повышать процентное содержание пека на 1% при смешивании анодной массы. Это обуславливается тем, что при повышении числа Блейна возрастает удельная поверхность пыли, которая должна быть покрыта пеком для стабильной работы анода в процессе электролиза алюминия.

Исследованию свойств анода в зависимости от пылевой фракции посвятили свою работу «контроль над воздухопроницаемостью предварительно-обожжённых анодов» китайские исследователи Сёдзюнь Чжан, Вэньсян Ли, Цзиньлун Цзян. В целях повышения анодной плотности тока необходимо улучшать характеристики анода, такие как: снижение удельного электросопротивления, снижение воздухопроницаемости, повышение стойкости к окислению, термостойкости [22]. Для достижения данных показателей необходимо контролировать и своевременно реагировать на изменение параметров в процессе изготовления анода. К одним из параметров, существенно влияющих на свойства анода, китайские

исследователи отнесли размер пылевой фракции, которую также характеризуют числом Блейна. В своей работе они приводят изменение значения числа Блейна пылевой фракции в исследуемом периоде. График изменения числа Блейна пылевой фракции в исследуемом периоде представлен на рисунке 9.

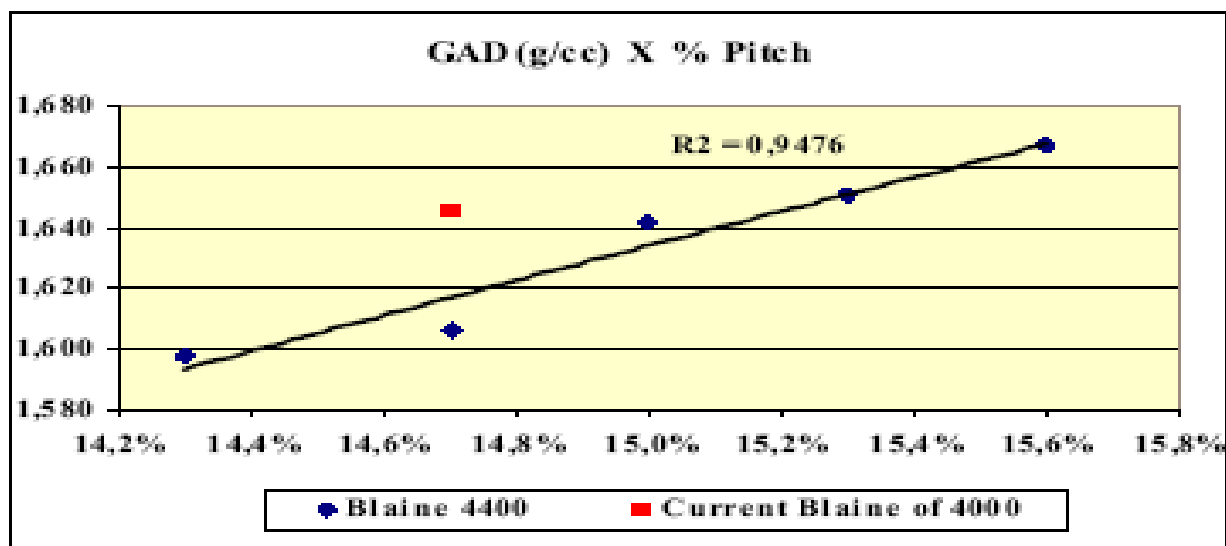


Рисунок 8- Зависимость истинной плотности анодной массы от значения числа Блейна и процентного содержания пека

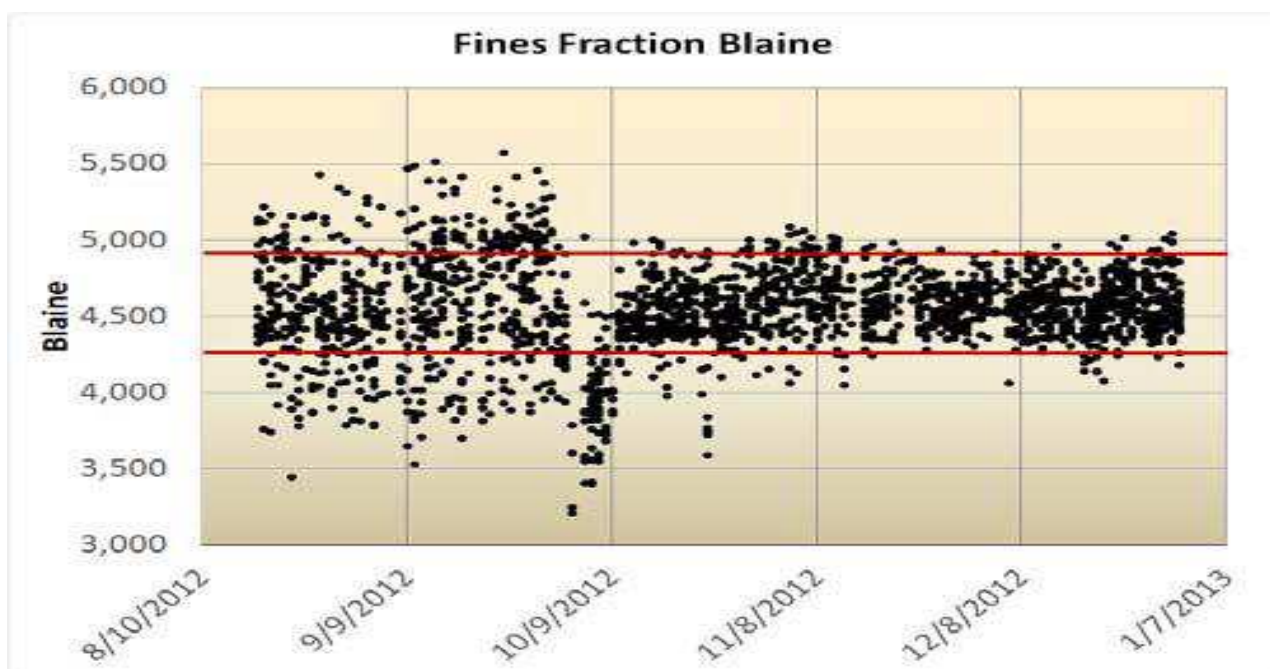


Рисунок 9 - График изменения числа Блейна пылевой фракции в исследуемом периоде

Был произведен статистический анализ данных числа Блейна пылевой фракции в менее стабильный период (с 18.08.2011 до 10.02.2013) и более

стабильный период (с 15.11.2012 до 31.12.2012). В результате анализа приводится гистограмма распределения значений числа Блейна пылевой фракции в исследуемые периоды, которая представлена на рисунке 10. Стандартное отклонение значений было уменьшено с 1700 в менее стабильный период до 700 в более стабильный период. В связи с этим, наблюдается снижение стандартного отклонения значений воздухопроницаемости анодов в более стабильном периоде. Гистограмма распределения значений воздухопроницаемости в исследуемые периоды представлена на рисунке 11.

Основным показателем пылевой фракции, характеризующее размер частиц пыли и ее удельную поверхность, является число Блейна. Изменение значения числа Блейна пылевой фракции оказывает влияние на свойства производимого анода. Так повышение удельной поверхности пыли ведет к росту истинной плотности анода, увеличению стойкости к окислению, снижению текучести, снижению удельного электросопротивления.

Пыль, подаваемая в сортовые бункера, состоит из мельничной и фильтровой пыли. Мельничная пыль является продуктом измельчения материала крупки и отсева в шаровых мельницах. Фильтровая пыль состоит из смеси пыли от аспирационных установок и пыли с электрофильтров. Фильтровая пыль собирается в бункере фильтровой пыли, откуда возвращается пневмотранспортом, по вертикально расположенному трубопроводу, в процесс приготовления шихты путем смешивания с мельничной пылью в циклоне перед загрузкой в сортовой бункер [23].

Свойства мельничной и фильтровой пыли существенно различаются (по гранулометрическому составу, удельной поверхности, смачиваемости). Удельная поверхность фильтровой пыли в несколько раз выше, чем у мельничной (удельная поверхность мельничной пыли $3000 \text{ см}^2/\text{г}$, фильтровой - $8000 \text{ см}^2/\text{г}$), поэтому изменение их соотношения приводит к нестабильности пластических свойств выпускаемой анодной массы и снижению качества формирования анодов (повышение выхода угольной пены, сколообразование,

снижение уровня коксопековой композиции и т.д.) и соответственно технико-экономические показатели работы электролизеров.

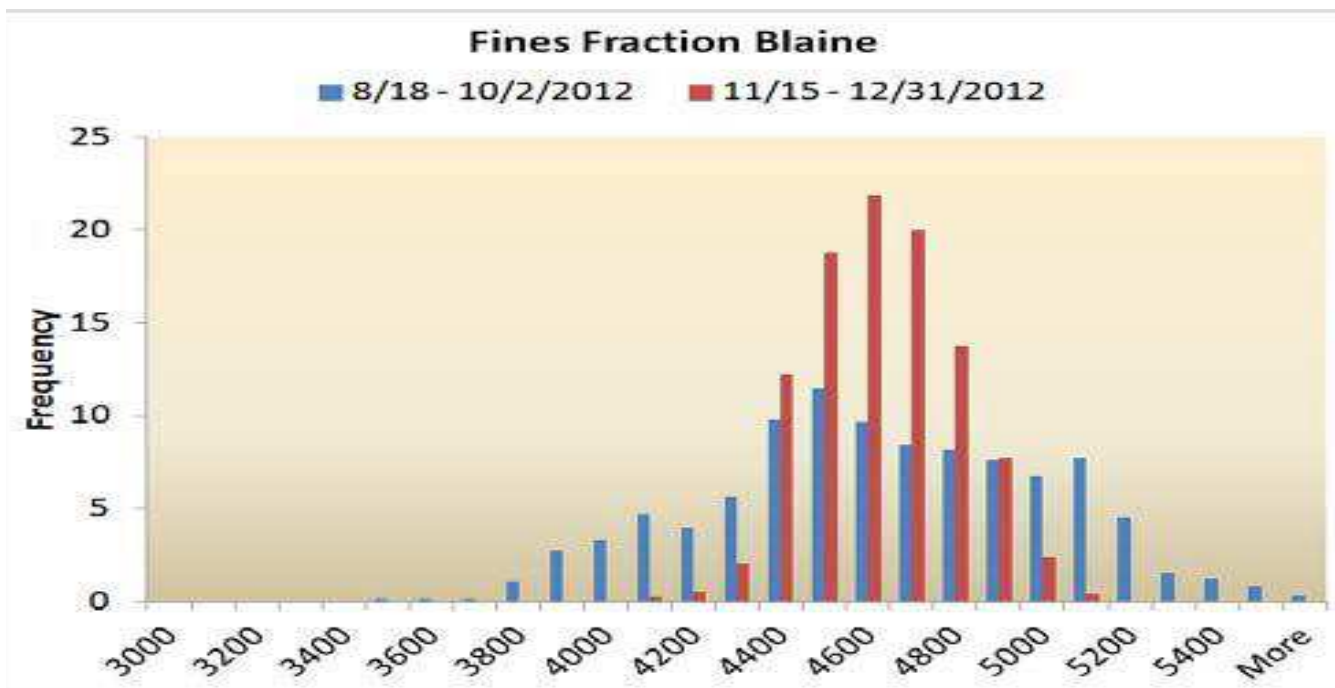


Рисунок 10 – Гистограмма распределения значений числа Блейна пылевой фракции в исследуемые периоды

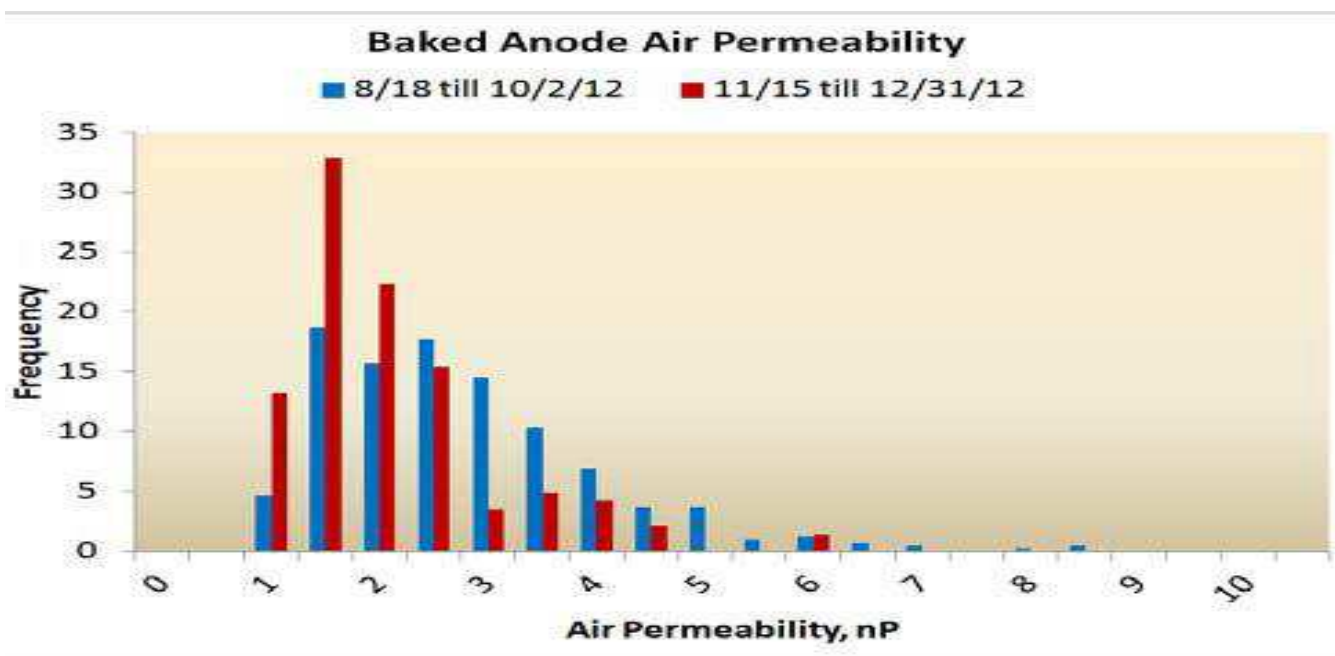


Рисунок 11 – Гистограмма распределения значений воздухопроницаемости в исследуемые периоды

Предельно допустимые показатели удельной поверхности пыли находятся в пределах 3800-5000 см²/г. На рисунке 12 изображен график значений удельной поверхности пыли в сентябре 2018. За указанный период отклонения значений удельной поверхности пыли от предельно допустимых составили 16%.

[Изъято 61 страница]

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт цветных металлов и материаловедения

Кафедра металлургии цветных металлов

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель магистерской
программы д-р хим. наук,
профессор


 Н.В. Белоусова


« 07 » 07 2020 г.

Магистерская диссертация


22.04.02.02 «Металлургия цветных металлов»

Исследование влияния свойств фракции "пыль" на повышение качества анодной массы и
расход анода при электролизе

Научный руководитель  02.07.20 к.т.н., доцент А.И. Безруких
подпись, дата должность, ученая степень

Выпускник  02.07.20 И.А. Шадрин
подпись, дата

Рецензент  03.07.20 начальник ОПАМ ДТиТРАП С.Г. Стародубов
подпись, дата НКАЗ ООО «РУСАЛ ИТЦ» должность, место работы

Консультант экономического  03.07.20 к.э.н., доцент Т.В. Твердохлебова
раздела подпись, дата должность, ученая степень

Красноярск 2020