

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

Институт цветных металлов и материаловедения
Кафедра металлургии цветных металлов

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
 Н. В. Белоусова
подпись инициалы, фамилия
« _____ » _____ 20 ____ г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Повышение технико-экономических показателей электролизера марки С8-Ба
22.04.02 «Металлургия»

22.04.02.02 «Металлургия цветных металлов»

Научный руководитель

подпись, дата

профессор, д-р хим.наук,
должность, ученая степень

П.В. Поляков
инициалы, фамилия

Выпускник

подпись, дата

А.С. Трусов
инициалы, фамилия

Рецензент

подпись, дата

менеджер ДТиТРАП «РУСАЛ ИТЦ»,
канд. техн. наук
должность, ученая степень

Л.В. Гавриленко
инициалы, фамилия

Консультанты

подпись, дата

канд. эконом. наук, доцент
должность, ученая степень

Т.В. Твердохлебова
инициалы, фамилия

Нормоконтролер

подпись, дата

профессор, д-р хим.наук
должность, ученая степень

Н.В. Белоусова
инициалы, фамилия

Красноярск 2021

Аннотация

Производство алюминия на электролизерах с анодом Содерберга происходит со значительно меньшими силами тока по сравнению с электролизерами с обожженными анодами. Отказ от данного типа электролизеров - довольно перспективное мероприятие, но проблема в том, что оно очень дорогостоящее и требующее глобальной перестройки заводов, что займет не мало времени. Не в корне, но частично решить эту проблему имеется возможность путем модернизации оборудования. Одной из последних таких модернизаций является техническое изменение катодного узла, в которой существенно пересмотрена конструкция футеровки, в первую очередь бортовой. Установка новых карбидокремниевых блоков значительно повышает стойкость электролизера, а также расширяет пространство «борт-анод».

Выпускная квалификационная работа посвящена модернизации анодного узла, а именно проработке вариантов увеличения эффективной площади анода, выбору оптимального типа размера анода и, как следствие, повышению производительности электролизера за счет увеличения силы тока. Преимуществом выбранного варианта является возможность большего поднятия силы тока с сохранением анодной плотности тока. Представлены результаты математического моделирования существующего и проектируемого электролизера с анодом Содерберга с показанными на них температурными полями. Расчет нового, улучшенного электролизера показал более высокую производительность, чем существующий электролизер.

Работа содержит введение, 3 раздела, заключение и список использованных источников. Магистерская диссертация изложена на 78 страницах. В ней имеются 12 таблиц, 16 рисунков и 58 формул.

Ключевые слова: электролизер, самообжигающийся анод, Содерберг, технико-экономический показатель, модернизация, повышение мощности.

Содержание

Введение	Error! Bookmark not defined.
1 Развитие и современное состояние алюминиевой промышленности ...	Error!
Bookmark not defined.	
1.1 Методы получения алюминия	Error! Bookmark not defined.
1.2 Перспективы развития производства алюминия в России.....	Error!
Bookmark not defined.	
1.3 Модернизации предприятий в сфере электролиза алюминия	Error!
Bookmark not defined.	
1.3.1 Пути повышение производительности алюминиевого электролизера на Братском алюминиевом заводе.....	Error! Bookmark not defined.
1.3.2 Медный вставной коллекторный стержень	Error! Bookmark not defined.
defined.	
1.3.3 Технология инертных анодов	Error! Bookmark not defined.
1.3.4 Технология «Экологический Содерберг»	Error! Bookmark not defined.
defined.	
2 Увеличение размеров анода.....	Error! Bookmark not defined.
2.1 Математическое моделирование критических габаритов электролизера типа С8-Ба	Error! Bookmark not defined.
2.2 Расчётная часть.....	Error! Bookmark not defined.
2.2.1 Материальный баланс	Error! Bookmark not defined.
2.2.2 Производительность электролизера	Error! Bookmark not defined.
2.2.3 Расчёт прихода сырья в электролизёр	Error! Bookmark not defined.
2.2.4 Расчёт продуктов электролиза	Error! Bookmark not defined.
2.2.5 Расчёт потерь сырья	Error! Bookmark not defined.
2.2.6 Конструктивный расчет	Error! Bookmark not defined.
2.2.7 Анодное устройство электролизера	Error! Bookmark not defined.

2.2.8 Расчёт катодного устройства	Error! Bookmark not defined.
2.2.9 Размеры катодного кожуха	Error! Bookmark not defined.
2.2.10 Электрический баланс электролизёра	Error! Bookmark not defined.
2.2.11 Падение напряжения в анодном устройстве	Error! Bookmark not defined.
defined.	
2.2.12 Падение напряжения в подине.....	Error! Bookmark not defined.
2.2.13 Доля увеличения напряжения от анодных эффектов	Error!
Bookmark not defined.	
2.2.14 Падение напряжения в ошиновке электролизёра ..	Error! Bookmark
not defined.	
2.2.15 Тепловой баланс электролизёра	Error! Bookmark not defined.
2.2.16 Расчет приход тепла	Error! Bookmark not defined.
2.2.17 Расход тепла.....	Error! Bookmark not defined.
3 Экономическая часть	Error! Bookmark not defined.
Заключение	Error! Bookmark not defined.
Список использованных источников	5

Список использованных источников

1. Окулов М. Д. Модернизация действующих заводов по производству алюминия / М. Д. Окулов, Н. В. Немчинова, С. С. Бельский // развития технологии переработки углеводородных, растительных и минеральных ресурсов Материалы IV Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. – Иркутск. – 2014. – С. 82 – 83.
2. История металлургии алюминия [Электронный ресурс] : Инженерный справочник. – Режим доступа: <http://for-engineer.info>. (дата обращения 03.02.2021)
3. История алюминия [Электронный ресурс] : Уроки истории. - Режим доступа: <https://school1208.ru/raznoe/alyuminievaya-promyshlennost.html> (дата обращения 03.02.2021)
4. Щенков В. В. Разработка новых технологических процессов получения алюминия / В. В. Щенков, С. Н. Литвак // Цв. Металлургия : Бюл НТИ / Цветинформация. – 1974. - №9. – С 38 -41.
5. Металловедение алюминия и его сплавов : справочник / А. И. Беляев, [и др.] // Металлургия. – Изд. 2–е, перераб. и доп. – Москва : Металлургия, 1983 г. – 280 с.
6. Металлургия алюминия : учеб. пособие для вузов / Ю.В.Борисоглебский, [и др.]. - Новосибирск : Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 1999 г. - 438 с.
7. Производство алюминия [Электронный ресурс] : Производство цветных металлов. – Режим доступа: <https://metalspace.ru/education-career/osnovy-metallurgii/proizvodstvo-tsvetnykh-metallov/540-proizvodstvo-alyuminiya.html> (дата обращения 03.02.2021)
8. Пат. 2415973 Российская Федерация, МПК С 25 С 3/06. Способ получения алюминия электролизом расплава / Ю. П. Зайков, В. А. Ковров, В. А. Крюковский, А. П. Храмов, Н. И. Шуров (RU). - № 2008134292/02 : заявл. 2008-08-20 : опубл. 2011-04-10, Бюл. № 19. – 9 с.

9. International Aluminium [Электронный ресурс]: PRIMARY ALUMINIUM PRODUCTION. – Режим доступа: <https://www.world-aluminium.org/statistics>. (дата обращения 15.03.2021)

10. Мировой рынок алюминия в 2016 году. Обзор рынка алюминия [Электронный ресурс] : EREPORT.RU Мировая экономика. – Режим доступа: <http://www.ereport.ru/articles/commod/aluminum.htm>. (дата обращения 15.03.2021)

11. Кутовая Я. «Русал» против Китая: почему производители из Поднебесной теснят других производителей [Электронный ресурс] : Forbes. 2017. – Режим доступа: <http://www.forbes.ru/biznes/341621-csr-vs-stolypinskiy-klub-ob-osobennostyah-obshchestvennoy-polemiki-v-rossii>. (дата обращения 15.03.2021)

12. Бродкина В. В. Перспективы развития алюминиевого производства в России / В. В. Бродкина, О. В. Рыжкова, Ю. В. Улас // Фундаментальные исследования. – 2018. - № 12-1. – С. 72 – 77.

13. Предприятия компании «РУСАЛ» [Электронный ресурс] : Официальный сайт группы компания «РУСАЛ». - Режим доступа: <https://rusal.ru>. (дата обращения 09.02.2021)

14. Состояние алюминиевой промышленности [Электронный ресурс] : Доклад НП «Алюминий». – Режим доступа: <https://www.metallistgroup.ru/stati/sostoyanie-alyuminievoj-promyshlennosti>.

15. Современное состояние российской алюминиевой промышленности [Электронный ресурс]. - Алюминиевая промышленность в России. – Режим доступа: <http://ecologi.ucoz.com>. (дата обращения 18.03.2021)

16. Sysoev I.A. Method of controlling the energy balance of electrolytic cells for aluminum production / I. A. Sysoev, V. A. Ershov, V. V. Kondrat'ev // Metallurgist. – 2015. - № 5 - 6. – P. 518 – 525.

17. Радионов Е.Ю. Особенности магнитной гидродинамики электролизеров ОА– 300 5-й серии Иркутского алюминиевого завода / Е. Ю. Радионов // Вестн. Иркут. гос. техн. ун-та. – 2009. - № 4 (40). - С. 210 - 213.

18. Высокоамперные технологии РУСАЛа – 8 лет динамичного развития / В. В. Пингин, [и др.] // Второй международный конгресс «ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ – 2010», - г. Красноярск, 2010. - С. 442 - 456.

19. Simulation and measurements on the flow field of 600 kA aluminium reduction pot / L. Wei, [at al.] // Light Metals. – 2015. - P. 479 - 482.

20. Arvida aluminium smelter – AP60 technological center, start-up performance and development of the technology / M. Forte, [at al.] // Light Metals. – 2015. - P. 495 - 498.

21. CHINALCO 600 kA high capacity low energy consumption reduction cell development / Z. Dongfand, [at al.] // Light Metals. – 2015. - P. 483 - 487.

22. Development history and performance of Dubal DX+ demonstration cells / Al. Zarouni, [at al.] // Light Metals. – 2015. - P. 489 - 494.

23. The influence of cathode shape on current density and metal heave in 300 kA aluminium reduction cell / Y. Song, [at al.] // Light Metals. – 2015. - P. 827-830.

24. Start-up of the ozeos treatment center (GTC) for RTA AP60 / P. Marineau, [at al.] // Light Metals. – 2015. - P. 623-625.

25. Моргунов, В. В. Тенденции модернизации Российских предприятий в сфере электролиза / В. В. Моргунов // Международный студенческий научный вестник. – 2019. - №2. – С. 23.

26. Бегунов А. И. Модернизация электролизных производств с использованием анодов Содерберга (в порядке обсуждения) / А. И. Бегунов, А. А. Бегунов // Цветные металлы. – 2011. - № 7. - С. 45 - 49.

27. Advancements of Dubal High Amperage Reduction Cell Technologies / M. Reverdy, [at al.] // Light Metals. – 2013. - P. 553 – 556.

28. High Amperage Operation Of AP18 Pots at Karmoy / M. Bugge, [at al.] // Light Metals. – 2011. – P. 415 – 419.

29. Увеличение производительности электролизеров путем повышения токовой нагрузки / С. И. Ножко, [и др.] // Системы, методы, технологии. – 2017. - № 2. – С. 54 – 58.

30. Турусов С.Н. Повышение силы тока на ОАО «РУСАЛ Братск». Опыт и перспективы / С. Н. Турусов, С. А. Черневский // Технико-экономический вестник РУСАЛа. – 2004. - № 8. - С. 18 – 21.

31. Сысоев И.А. Опыт управления энергетическим режимом электролизеров с обожженными анодами (од) на силу тока 300 кА / И. А. Сысоев // Вестн. Иркут. гос. техн. ун-та. – 2007. - № 2-2 (30). - С. 23 – 26.

32. Сысоев И.А. Разработка способа управления энергетическим режимом электролизеров для производства алюминия / И. А. Сысоев, [и др] // Цветные металлы. – 2016. - № 5 (881). - С. 38 – 43.

33. Беляев А. И. Электролит алюминиевых ванн : учебник / А. И. Беляев. - М.: Металлургиздат, 1961. - 167 с.

34. Copper Insert Collector Bar for Energy Reduction in 360 KA Smelter / A. Jha, [at al.] // Light Metals. – 2019. – P. 565 – 572.

35. Haupin W. Interpreting the components of cell voltage / W. Haupin // Light Metals. – 1998. – P. 531 – 537.

36. Davidson P. MHD Instabilities in Reduction Cells : / P. Davidson / Cambridge University Press. – 2001. – P. 363 – 386.

37. Potocnik V. A-275 MHD design / V. Potocnik // Light Metals. – 1986. – P. 203 – 208.

38. Kaenel R. Impact of copper insert collector bars / R. Kaenel, J. Antille, L. Bugnion // Light Metals. – 2015. – P. 807 – 812.

39. Energy Reduction Initiatives to Improve Low Amperage Cell Performance / A. Gupta, [at al.] // ICSOBA. – 2017. – P. 1135 – 1142.

40. Kvande H. Inert electrodes in aluminum electrolysis cells / H. Kyande // Light Metals. – 1999. – P. 369 – 376.

41. Hryn J. N. A dynamic inert metal anode. Office of Scientific & Technical Information Technical Reports / J. N. Hryn // Light Metals. - 1998. – P. 427 – 432.

42. Olsen E. The Behaviour of Nickel Ferrite Cermet Materials as Inert Anodes / E. Olsen, J. Thonstad // Light Metals. - 2016. – P. 1110 – 1118.

43. Tabereaux A. The Operational Performance of 70kA Prebake Cells Retrofitted With TiB₂-G Cathode Elements / A. Tabereaux, J. Brown, I. Eldridge // Light Metals. – 1998. – P. 257 – 262.

44. Alcom T. R. Operational Results of Pilot Cell Test With Cermet Inert Anodes / T. R. Alcom, A. T. Tabereaux, N. E. Richards // Light Metals. – 1999. – P. 312 – 318.

45. Liao X. A. Effects of Carbon-Coatings on Sodium Expansion of the Cathode in Aluminum electrolysis / X. A. Liao, Harald A. Q. // Light Metals. -1999. – P. 629 - 634.

46. Briem S. Development of energy demand and energy-related CO₂ emissions in melt electrolysis for primary aluminium production / S. Briem // Aluminium 2000. – P. 502 – 506.

47. Huglen R. Global Considerations of Aluminium Electrolysis on Energy and the Environment / R. Huglen, H. Kvande // Light Metals. - 2016. – P. 948 – 955.

48. Øye H. A. Aluminum: Approaching the new millennium / H. A. Øye // JOM. – 1999. – 51, №2. – P. 29–42.

49. Третьяков О. Б. Современное состояние и особенности производства первичного алюминия в мире / О. Б. Третьяков, Е. А. Рысаев // Вестник университета. – 2012. - № 2. – С. 216 – 224.

50. Electrolytic Properties and Element Migration Behavior of Fe-TiB₂ Composite Cathode / Y. Liang, [et al.] // Light Metals. – 2019. – P. 1329 – 1334.

51. Минцис М. Я. Электролизеры с анодом Содерберга и возможности их модернизации / М. Я. Минцис, Г. А. Сиразутдинов, Г. В. Галевский // Цветные металлы. – 2012. - №12. – С. 49 – 52.

52. Сибгатулин В. Г. Красноярский алюминиевый завод: экологический фактор / В. Г. Сибгатулин, Н. Г. Шишацкий // ЭКО. – 2018. – № 4. – С. 48 – 68.

53. Экологический Содерберг [Электронный ресурс] // РУСАЛ: сайт. – URL: <https://rusal.ru/development/ecology/soderberg/> (дата обращения 19.04.2021)

54. Пат. 2443804 Российская Федерация, МПК⁵¹ С 25 С 3/22. Устройство для сбора и удаления газов из алюминиевого электролизера Содерберга / Г. В. Архипов, В. Х. Манн, В. В. Пингин, В. К. Фризоргер, Я. А. Третьяков, А. Г. Архипов, В. Г. Шадрин (RU). - № 2010141366/02 ; заявл. 2010.10.08 ; опубл. 2012.02.27, Бюл. № 6. – 6 с.

55. Металл как подсистема алюминиевого электролизера / О.В. Слученков, [и др.] // Алюминий Сибири. – 2005 г.: сборник. Красноярск. 2005. С. 86-90.

56. Панин П. А. Повышение силы тока на электролизерах с обожженными анодами / П. А. Панин // Евразийский научный журнал. – 2020. - №5. <http://journalpro.ru>

57. Пьяных, А. А. Повышение эффективности теплотехнологических процессов и установок для получения алюминия, и его сплавов : дис. ... канд. тех. наук : 05.04.04 / Пьяных Артем Анатольевич. – Красноярск, 2009. – 111 стр.

58. Пат. 2714565 Российская Федерация, МПК С 25 С 3/06. Алюминиевый электролизер с утепленной бортовой футеровкой / Г. В. Архипов, Р. Х. Мухаметчин, Е. Р. Шайдулин, А. В. Попов, Ю. О. Авдеев (RU). - № 2019125927 : заявл. 2019-08-15 : опубл. 2020-02-18, Бюл. № 5. – 11 с.

59. Исаева Л. А. Расчет электролизеров для производства первичного алюминия : учеб. пособие / Л. А. Исаева, Ю. Г. Михалев, П. В. Поляков. – Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2010. – 101 с.

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

Институт цветных металлов и материаловедения
Кафедра металлургии цветных металлов

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 Н. В. Белоусова

подпись инициалы, фамилия


«21» 06 2021 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Повышение технико-экономических показателей электролизера марки С8-Ба
22.04.02 «Металлургия»

22.04.02.02 «Металлургия цветных металлов»

Научный руководитель

 21.06.21 профессор, д-р хим. наук,
подпись, дата должность, ученая степень


П.В. Поляков
инициалы, фамилия

Выпускник

 15.06.2021
подпись, дата


А.С. Трусов
инициалы, фамилия

Рецензент

 15.06.21 менеджер ДТиТРАП «РУСАЛ ИТЦ»,
подпись, дата канд. техн. наук
должность, ученая степень

Л.В. Гавриленко
инициалы, фамилия

Консультанты

 18.06.21 канд. эконом. наук, доцент
подпись, дата должность, ученая степень

Т.В. Твердохлебowa
инициалы, фамилия

Нормоконтролер

 21.06.21 профессор, д-р хим. наук
подпись, дата должность, ученая степень

Н.В. Белоусова
инициалы, фамилия

Красноярск 2021