UO‘K: 669.713.17:622.349.2

MEXANIK FAOLLASHTIRISHNING GLINOZYOM AJRATIB OLISHGA TA’SIRI

Ro‘ziyev Ulug‘bek Mamarasulovich
Qarshi davlat texnika universiteti
Email: ulugruziyev2@gmail.com
https://orcid.org/0009-0001-9533-3603
Boymurodov Najmiddin Abduqodirovich
Qarshi davlat texnika universiteti
Email: najmiddinboy-94@mail.ru

Annotatsiya: Ushbu maqolada alyuminiy ishlab chiqarishning kriolit-glinozyomli elektroliz jarayonida asosiy xomashyo bo‘lgan glinozyomning eritilish tezligini oshirish maqsadida mexanik faollashtirish usuli qo‘llanilgan. Tadqiqot jarayonida 10 g glinozyom namunasi M-3 turdagi planetar tegirmonda quruq sharoitda, havo muhitida 50g markazdan qochma kuch ta’sirida qayta ishlovdan o‘tkazildi. Natijalar glinozyomning hatto qisqa muddatli (5–10 soniya) mexanik faollashtirilishi uning reaksion faolligini sezilarli darajada oshirishini ko‘rsatdi. Eng mayda (<10 mkm) zarrachalar miqdori 1,7% dan 65,1% gacha ortdi, ularning morfologiyasi esa burchakli shakldan oval va g‘ovak shaklga o‘zgardi. 950–980°C harorat oralig‘ida ftoridli elektrolitda o‘tkazilgan eritish tajribalari mexanik faollashtirilgan glinozyomning to‘liq erish vaqti ikki barobardan ko‘proq qisqarishini aniqladi. Bu esa alyuminiy ishlab chiqarish jarayonining energiya samaradorligini oshirishda mexanik faollashtirish usulining amaliy ahamiyatga ega ekanligini tasdiqlaydi.

Kalit so‘zlar: glinozyom, mexanik faollashtirish, eritilish kinetikasi, kriolitli elektrolit, zarracha morfologiyasi, alyuminiy ishlab chiqarish, energiya samaradorligi, elektroliz jarayoni

Abstract: This study applies the method of mechanical activation to enhance the dissolution rate of alumina, the main raw material used in the cryolite–alumina electrolysis process of aluminum production. During the experiment, a 10 g alumina sample was processed in an M-3 type planetary mill under dry conditions and an air atmosphere, with a centrifugal force of 50g. The results showed that even short-term (5–10 seconds) mechanical activation significantly increased the reactivity of alumina. The fraction of fine particles (<10 μm) rose from 1.7% to 65.1%, while their morphology changed from angular to oval and porous shapes. Dissolution experiments in a fluoride electrolyte at 950–980°C demonstrated that the complete dissolution time of mechanically activated alumina decreased by more than twofold. These findings confirm the practical importance of mechanical activation for improving the energy efficiency of aluminum production.

ISSN 3030-3907

Keywords: alumina, mechanical activation, dissolution kinetics, cryolite electrolyte, particle morphology, aluminum production, energy efficiency, electrolysis process

Аннотация: В данной статье для увеличения скорости растворения глинозёма — основного сырья криолит-глинозёмного электролиза алюминия — применён метод механической активации. В ходе эксперимента 10 г образца глинозёма подвергались обработке в планетарной мельнице типа M-3 в сухих условиях и воздушной среде при центробежной силе 50g. Результаты показали, что даже кратковременная (5–10 секунд) механическая активация значительно повышает реакционную способность глинозёма. Количество мелких частиц (<10 мкм) увеличилось с 1,7% до 65,1%, а их морфология изменилась с угловатой на овальную и пористую. Эксперименты по растворению в фторидном электролите при 950–980°C показали, что полное растворение механически активированного глинозёма происходит более чем в два раза быстрее. Это подтверждает практическую значимость метода механической активации для повышения энергетической эффективности процесса производства алюминия.

Ключевые слова: глинозём, механическая активация, кинетика растворения, криолитовый электролит, морфология частиц, производство алюминия, энергетическая эффективность, процесс электролиза

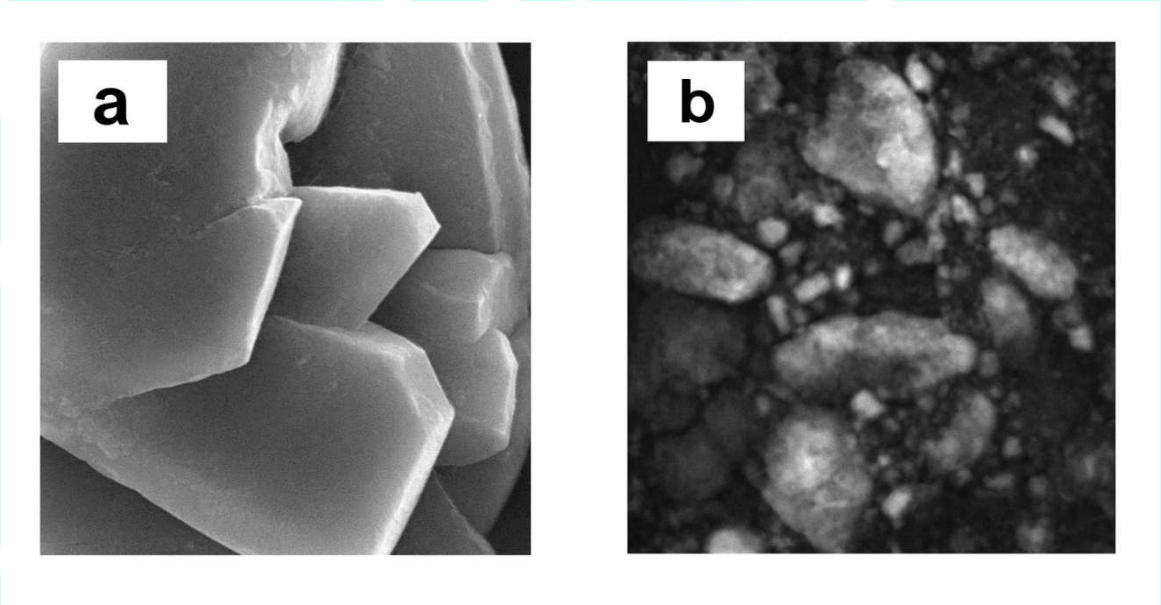
Kirish

Glinozyom alyuminiy ishlab chiqarishning strategik xomashyosi bo‘lib, uning tozaligi, kristall strukturasi va dispersligi tayyor metallning elektr-mexanik xossalariga bevosita ta’sir ko‘rsatadi [1]. Shuningdek, glinozyomni eritish kinetikasi elektrolizning energiya samaradorligini belgilovchi asosiy omillardan biridir. Shu sababli glinozyomning eritilish tezligini oshirish texnologik optimallashtirishda muhim ahamiyatga ega.

Glinozyom alyuminiy ishlab chiqarishning kriolit-glinozyomli elektroliz jarayonida asosiy xomashyo sifatida xizmat qiladi. Uning eritilishi endotermik xarakterga ega bo‘lib, har bir mol Al_2O_3 uchun taxminan 200 kJ energiya sarf etiladi. Eritma tarkibida glinozyom konsentratsiyasi past bo‘lganda $Al_2OF_6^{2-}$, to‘yinish holatiga yaqinlashganda esa $Al_2O_2F_4^{2-}$ kabi oksiftorid komplekslari hosil bo‘ladi. Agar elektrolit vannasiga kiritilgan Al_2O_3 miqdori me’yordan ortiq bo‘lsa va u to‘liq erimasa, yirik zarrachalar elektrolit qobig‘i bilan qoplanadi hamda mahalliy harorat o‘rtacha 10°C gacha pasayadi. Glinozyom ftoridli suyuqlanmaga tushgandan so‘ng taxminan 10 soniya o‘tibgina eriy boshlaydi. To‘liq erimagan qismi esa metall qatlamiga cho‘kib, taglikda cho‘kindilar yoki qattiq qatlami hosil qiladi. Bu holat konveksiya jarayonining (Lorens kuchlari ta’sirida) kuchayishiga olib keladi va natijada elektroliz jarayonining tok bo‘yicha unumdorligi pasayadi.

ISSN 3030-3907

Glinozyomning eritilish kinetikasi kriolitli elektrolit tarkibidagi ion komplekslari bilan o‘zaro ta’sir mexanizmlari orqali belgilanadi. Mexanik faollashtirish jarayonida zarracha sirtida hosil bo‘ladigan dislokatsiyalar va amorf zonalar ion almashinish reaksiyalarining faollashuviga sabab bo‘ladi. Bunday holatda Al–O bog‘lari zaiflashadi, bu esa eritish jarayonida Al^{3+} ionlarining ftorid ionlari bilan tezroq kompleks hosil qilishiga imkon yaratadi. Shu orqali eritma ichida $Al_2O_3 \rightarrow Al_2OF_6^{2-} \rightarrow Al_2O_2F_4^{2-}$ o‘tish tezlashadi, bu esa umumiy eritilish kinetikasini oshiradi.



1-rasm. Glinozyomning mikrofotografiyalari: (a) dastlabki holatdagi va (b) M-3 tegirmonida quruq sharoitda, havo muhitida 10 soniya davomida mexanik faollashtirilgan namunalar. Kattalashtirish darajasi — x1500.

Tajriba davomida M-3 turdagi planetar tegirmonda 10 g glinozyom namunasi 3 mm po‘lat sharlar bilan qayta ishlangan. Faollashtirish vaqti 5–180 soniya oralig‘ida o‘zgartirilgan. Har bir bosqichdan so‘ng namunalar elektron mikroskop (SEM) va rentgen faza tahlili (XRD) orqali o‘rganilgan.

- Rentgen difraksiyasi natijalari shuni ko‘rsatdiki, 10 soniyalik faollashtirishdan so‘ng α-Al_2O_3 fazasining ulushi kamaygan, γ-Al_2O_3 va χ-Al_2O_3 kabi metastabil fazalar hosil bo‘lgan.
- SEM tahlilida sirt morfologiyasi o‘tkir burchakli kristallardan yumaloq va g‘ovak shaklga o‘zgargani aniqlangan.
- BET tahlili natijalariga ko‘ra, solishtirma sirt maydoni 2,1 m^2/g dan 18,7 m^2/g gacha oshgan.

Glinozyomning erish tezligini oshirish maqsadida mexanik faollashtirish usuli qo‘llanildi. Ushbu yondashuv uning fizik-kimyoviy faolligini kuchaytirish orqali eritilish jarayonining samaradorligini oshiradi, degan ilmiy faraz ilgari surildi. Tadqiqot ob’ekti sifatida Nikolayev giltuproq zavodida ishlab chiqarilgan giltuproq namunasi tanlandi. Tajriba davomida 10 g massali giltuproq 3 mm

ISSN 3030-3907

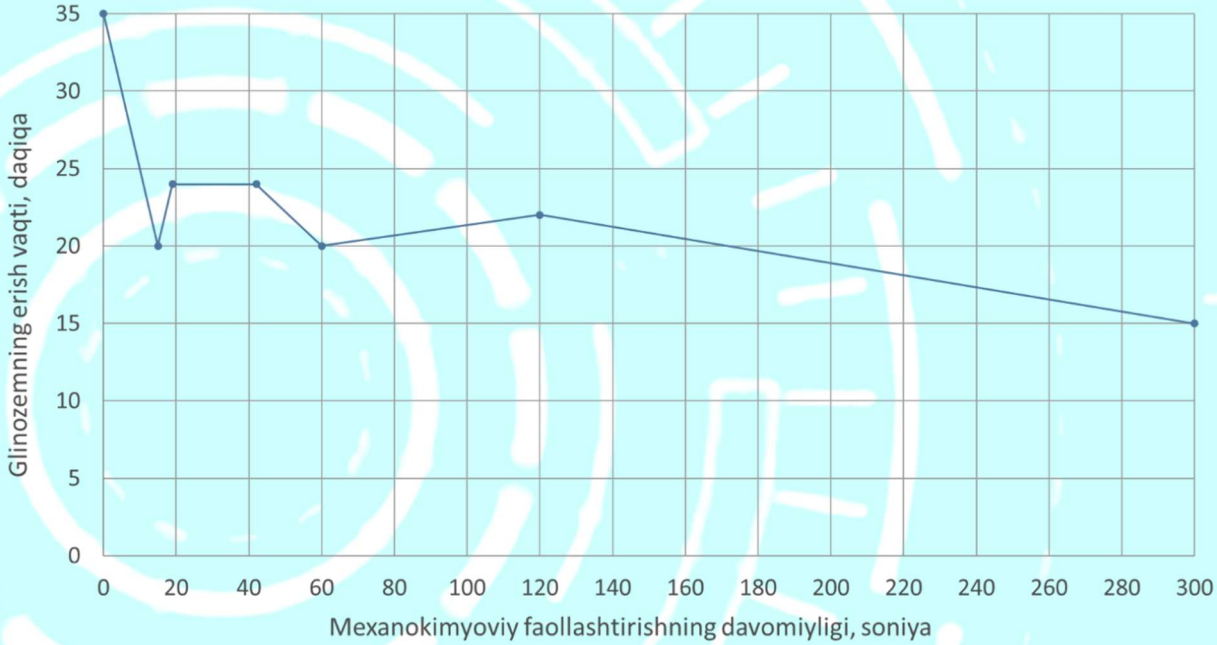
diametrli po‘lat maydalovchi jismlar bilan birgalikda 1000 g yuklama ostida qayta ishlovdan o‘tkazildi. Mexanik faollashtirish jarayoni havo muhitida, quruq rejimda, planetar turdagi M-3 tegirmonida amalga oshirildi. Ushbu tegirmon odatiy sharsimon tegirmonlarga nisbatan ancha yuqori — 50g miqdoridagi markazdan qochma kuch hosil qilishi bilan farqlanadi, bu esa faollashtirish jarayonining intensivligini sezilarli darajada oshiradi [2].

Mexanik faollashtirish jarayonining boshlanishidan 5 soniya o‘tganidan keyin glinozyom tarkibidagi eng mayda zarrachalar (<10 mkm) miqdori 32 barobarga ortib, dastlabki 1,7% dan 54,5% gacha yetadi. Faollashtirish davom etishi bilan bu ko‘rsatkich maksimal qiymatga — 65,1% gacha, taxminan 180 soniya ichida erishadi. Elektron mikroskopik tahlillar natijalari shuni ko‘rsatadiki, glinozyomning dastlabki holatida uning kristall tuzilmasi yaxshi shakllangan bo‘lib, zarralar o‘lchamlari bir-biriga yaqin va korund hamda boshqa o‘tish Al_2O_3 fazalariga xos rombik, geksagonal plastinka yoki prizma shaklida bo‘ladi [3]. Mexanik faollashtirishdan so‘ng esa zarrachalarning morfologiyasi sezilarli darajada o‘zgaradi — ularning o‘lchamlari turlicha bo‘lib, shakllari asosan oval ko‘rinishga ega bo‘ladi (1-rasm). Zarrachalarning shakliy o‘zgarishi, xususan burchakli kristallar o‘rniga oval, g‘ovak shakllarning paydo bo‘lishi ularning sirt energiyasini oshiradi. Bu holat issiqlik va massa almashinuv tezligini kuchaytiradi. Shuning uchun bunday zarrachalar elektrolit bilan tezroq o‘zaro ta’sirlashib, erish jarayonini jadallashtiradi.

950–980°C harorat oralig‘ida elektrolitda glinozyomning erish jarayoni bo‘yicha olib borilgan tajribalar shuni ko‘rsatdiki, mexanik faollashtirilgan glinozyom (tashqi ko‘rinishidan g‘ovak tuzilishga ega bo‘lib, dastlabki holatidan farqli) eritmaga kiritilganda changlanish kuzatilmaydi [4]. U suyuqlangan elektrolitga tushgach, faol zarrachalar bilan o‘zaro to‘qnashib, sirt bo‘ylab tez tarqaladi va qisqa fursatda eritmaga cho‘kadi. Bunga nisbatan, faollashtirilmagan glinozyom elektrolitga qo‘shilganda dastlabki 10–15 soniya davomida uning yuzasi bo‘ylab yoyiladi, so‘ng zarrachalar asta-sekin cho‘kib, tigel tubida nisbatan sekin eriydi [5]. Faollashtirilgan glinozyom zarrachalari esa yuqori sirt energiyasi tufayli o‘zaro agregatlar hosil qiladi, bu agregatlar esa tezda suyuqlanmaga cho‘kib, dastlabki 15 daqiqa ichida to‘liq eriydi (2-rasm). Taqqoslash uchun, boshlang‘ich holatdagi glinozyomning to‘liq erish vaqti o‘rtacha 35 daqiqani tashkil etadi.

Elektrolit tarkibi asosan Na_3AlF_6 (kriolit) va AlF_3 aralashmasidan iborat bo‘lib, bu tizim glinozyom uchun optimal erish muhitini yaratadi. Eritmaning viskozligi va ion o‘tkazuvchanligi glinozyomning kirish tezligiga bevosita ta’sir ko‘rsatadi. Faollashtirilgan glinozyomning yuqori sirt energiyasi tufayli u elektrolitga tushganda tezroq namlanadi, bu esa uning changlanishsiz erishini ta’minlaydi [6].

ISSN 3030-3907



2-rasm. Glinozyomning mexanokimyoviy faollashtirish (MA) davomiyligining uning keyinchalik ftoridlar suyuqlanmasida to‘liq erish vaqtiga ta’siri.

Glinozyomning hatto juda qisqa muddatli — 5–10 soniya davom etuvchi mexanik faollashtirilishi ham uning reaksion faolligini sezilarli darajada oshiradi. Tadqiqot natijalariga ko‘ra, eng mayda dispers fraksiyalar (zarrachalar o‘lchami 10 mkm dan kichik) miqdori 1,7% dan 65,1% gacha ortadi[7]. Shu bilan birga, faollashtirish jarayonida zarrachalarning o‘zaro agregatlanishi natijasida solishtirma sirt maydoni o‘n barobardan ko‘proq kamayadi. Bu holat glinozyomning eritilish kinetikasiga bevosita ta’sir etadi: sanoat elektroliz qurilmasida 950–980°C harorat oralig‘ida ftoridli elektrolit suyuqlanmasida glinozyomning to‘liq erish vaqti ikki barobardan ortiq qisqaradi [8]. Shu tarzda mexanik faollashtirish jarayoni glinozyomning eritmaga kirish tezligini va umumiy texnologik samaradorlikni oshiruvchi muhim bosqich sifatida namoyon bo‘ladi [9].

Mexanik faollashtirish jarayonida zarrachalarga berilgan yuqori energiyali zarbalar natijasida ularning sirtida dislokatsiyalar, mikro-yoriqlar va amorf zonalar hosil bo‘ladi. Bu esa kristall panjaraning ichki energiyasini oshirib, kimyoviy reaksiyalarga kirishish ehtimolini sezilarli darajada kuchaytiradi [10]. Natijada glinozyom zarrachalari eritmada tezroq ionlanadi va ftoridli komplekslar bilan reaksiyaga kirishish qobiliyati ortadi.

XULOSA

O‘tkazilgan tadqiqotlar shuni ko‘rsatdiki, glinozemning mexanik faollashtirilishi uning fizik-kimyoviy xossalarini tubdan o‘zgartirib, eritilish kinetikasini sezilarli darajada tezlashtiradi. M-3 turdagi planetar tegirmonda qisqa muddatli (5–10 soniya) mexanik ishlov natijasida zarrachalarning o‘lchami keskin

ISSN 3030-3907

kamayib, <10 mkm fraksiya miqdori 1,7% dan 65,1% gacha ortadi. Shu bilan birga, zarrachalarning shakli burchakli kristallardan oval, g‘ovak tuzilishga o‘tadi, bu esa ularning sirt energiyasini oshiradi. Natijada, ftoridli elektrolitda 950–980°C haroratda olib borilgan eritish tajribalari mexanik faollashtirilgan glinozemning to‘liq erish vaqti boshlang‘ich holatdagi namunalarga nisbatan ikki barobardan ko‘proq qisqarishini ko‘rsatdi. Mexanik faollashtirish natijasida hosil bo‘lgan sirt defektlari, dislokatsiyalar va amorf zonalar glinozemning reaktivligini oshiradi, bu esa uning elektrolitdagi ionlashish tezligini kuchaytiradi. Shu boisdan, ushbu usul alyuminiy ishlab chiqarishning kriolit-glinozemli elektroliz jarayonida energiya sarfini kamaytirish, eritish jarayonini barqarorlashtirish va texnologik unumdorlikni oshirish uchun istiqbolli yo‘nalish hisoblanadi.

ADABIYOTLAR RO‘YXATI.

1. Metson, J. (2011). Production of alumina. In *Fundamentals of aluminium metallurgy* (pp. 23-48). Woodhead Publishing.

2. Abdisamievich, S. A., Mamarasulovich, R. U., & Azamatugli, K. O. (2025). DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR OBTAINING ALUMINA FROM LOCAL RAW MATERIALS. *Sanoatda raqamli texnologiyalar/Цифровые технологии в промышленности*, *3*(2), 105-111.

3. Abdisamiyevich, S. A., Xudaynazar o‘g‘li, E. U., Mamarasulovich, R. U., & Ilyosjon o‘g‘li, X. I. (2025). ROASTING OF ALUMINA-CONTAINING MATERIAL IN A ROTARY KILN. *GREAT BRITAIN-SCIENTIFIC REVIEW OF THE PROBLEMS AND PROSPECTS OF MODERN SCIENCE AND EDUCATION*, *1*(1), 22-28.

4. Abdisamiyevich, S. A., Mamarasulovich, R. Z. U. B., & Rasul o‘g‘li, X. S. (2025). RUDADAN GLINOZYOMNI AJRATIB OLISH. *INTELLECTUAL EDUCATION TECHNOLOGICAL SOLUTIONS AND INNOVATIVE DIGITAL TOOLS*, *3*(34), 4-7.

5. Gylver, S. E., Kvande, H., & Solheim, A. (2022). The formation and disintegration of rafts from different secondary aluminas in a lab cell. Metals, 12(8), 1350.

6. Bojarevics, V., & Dupuis, M. (2022). Advanced alumina dissolution modelling. University of Greenwich Technical Report, London.

7. Gylver, S. E., Kvande, H., & Solheim, A. (2023). Modeling alumina feeding with the μ(I)-rheology. Metallurgical and Materials Transactions B, 54(2), 485–497.

8. Reynes, J.-F., & Friščić, T. (2024). Mechanochemistry for organic and inorganic synthesis: Principles and perspectives. ACS Organic & Inorganic Au, 4(3), 125–143.

ISSN 3030-3907

9. Arfelis, S., Bouvart, N., & Lamaty, F. (2024). Linking mechanochemistry with the green chemistry principles. Green Chemistry, 26(5), 2098–2112.
10. De Bellis, J., Perez, V., & Costa, D. (2022). Surface and bulk chemistry of mechanochemically treated oxides: The alumina–water system. Journal of the American Chemical Society, 144(12), 5289–5301.
11. d'Azevedo, C. A., Marques, L. F., & Ferreira, P. M. (2022). Preparation of α-cordierite through mechanochemical activation: Effect on solid-state synthesis. Ceramics International, 48(14), 20012–20020.*

ISSN 3030-3907