

**ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ  
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ**

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ  
ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА**

---

**ҚАЗАҚСТАН ҒЫЛЫМЫ  
МЕН ТЕХНИКАСЫ**

2001 ЖЫЛДАН БАСТАП ШЫҒАДЫ



**НАУКА И ТЕХНИКА  
КАЗАХСТАНА**

ИЗДАЕТСЯ С 2001 ГОДА

ISSN 2788-8770

№ 2 (2021)

---

**ПАВЛОДАР**

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ  
ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТ**  
выходит 1 раз в квартал

---

**СВИДЕТЕЛЬСТВО**

о постановке на переучет периодического печатного издания,  
информационного агентства и сетевого издания  
№ KZ51VPY00036165

выдано  
Министерством информации и общественного развития  
Республики Казахстан

**Тематическая направленность**

публикация научных исследований по широкому спектру проблем в области металлургии,  
машиностроения, транспорта, строительства, химической и нефтегазовой инженерии,  
производства продуктов питания

**Подписной индекс – 76129**

<https://doi.org/10.48081/FUTF8491>

**Импакт-фактор РИНЦ – 0,344**

---

Абишев Кайратолла Кайроллинович – к.т.н., профессор (главный редактор);  
Касенов Асылбек Жумабекович – к.т.н., профессор (заместитель главного редактора);  
Мусина Жанара Керейовна – к.т.н., профессор (ответственный секретарь);  
Шокубаева Зауреш Жанатовна – технический редактор.

**Члены редакционной коллегии:**

Калиакпаров Алтай Гиндуллинович – д.т.н., профессор (Нур-Султан, Казахстан);  
Клецель Марк Яковлевич – д.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);  
Шеров Карибек Тагаевич – д.т.н., профессор (Караганда, Казахстан);  
Богомолов Алексей Витальевич - к.т.н., ассоц. профессор (Павлодар, Казахстан);  
Кажыбаева Галия Тулеуевна - к.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);  
**Зарубежные члены редакционной коллегии:**  
Baigang Sun – профессор (Пекин, Китай);  
Gabriele Comodi – PhD, профессор (Анкона, Италия);  
Jianhui Zhao – профессор (Харбин, Китай);  
Khamid Mahkamov – д.т.н., профессор (Ньюкасл, Великобритания);  
Magin Laruerta – д.т.н., профессор (СьюДад Исаева КуралайСметкановна Реал, Испания);  
Mareks Mezitis – д.т.н., профессор (Рига, Латвия);  
Petr Bouchner – PhD, профессор (Прага, Чехия);  
Ronny Berndtsson – профессор (Лунд, Швеция);  
Барзов Александр Александрович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);  
Витвицкий Евгений Евгеньевич – д.т.н., профессор (Омск, Россия);  
Иванчина Эмилия Дмитриевна – д.т.н., профессор (Томск, Россия);  
Лазарев Владислав Евгеньевич – д.т.н., профессор (Челябинск, Россия);  
Мягков, Леонид Львович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);  
Янюшкин Александр Сергеевич – д.т.н., профессор (Чебоксары, Россия);  
Ребезов Максим Борисович – д.с/х.н., профессор (Москва, Россия).

---

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели  
Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов  
При использовании материалов журнала ссылка на журнал «Наука и техника Казахстана» обязательна

© Торайгыров университет

**\*П. О. Быков<sup>1</sup>, А. Б. Куандыков<sup>2</sup>, А. К. Жунусов<sup>3</sup>,  
М. Ж. Тусупбекова<sup>4</sup>, Д. Р. Абсолямова<sup>5</sup>**

<sup>1,2,3,4,5</sup>Торайгыров университет,  
Республика Казахстан, г. Павлодар

## **РАФИНИРОВАНИЕ АЛЮМИНИЯ – СЫРЦА БОРСОДЕРЖАЩИМИ МАТЕРИАЛАМИ**

*В работе исследована технология рафинирования алюминия-сырца от примесей ванадия, основанная на флюсовой обработке борсодержащими флюсами.*

*В Павлодарской области Республики Казахстан на базе местных предприятий развивается производство первичного алюминия и изделий на базе местного сырья.*

*Основной проблемой при производстве первичного алюминия на базе АО «Казахстанский электролизный завод» является наличие нежелательных примесей ванадия, которые переходят в металл при электролизе из обожжённых анодов, полученных из местного прокалённого кокса с повышенным содержанием ванадия (ТОО «УПНК-ПВ», г. Павлодар, Казахстан).*

*В работе проведены экспериментальные исследования по флюсовому рафинированию алюминий-сырца борной кислотой ( $H_3BO_3$ ). Выбор борной кислоты обусловлен ее доступностью и дешевизной по сравнению с лигатурой Al-V.*

*Лабораторными экспериментами установлено, что применение борной кислоты ( $H_3BO_3$ ) снижает содержание ванадия в алюминий-сырце в среднем на 22,5 – 47,7 %, причем эффективность удаления увеличивается при перемешивании расплава.*

*Наблюдается снижение содержания в алюминий-сырце примесей других металлов (Si, Cu, Mn, Mg) при обработке борной кислотой ( $H_3BO_3$ ).*

*Ключевые слова: алюминий, флюсовое рафинирование, ванадий, бор, электролиз.*

### **Введение**

В Казахстане активно развивается алюминиевый кластер на основе предприятий АО «Алюминий Казахстана» и АО «Казахстанский электролизный завод» входящих в группу ERG [1–3]. Потребителями первичного алюминия в Казахстане являются АО «Казэнергокабель», ТОО «Вектор-Павлодар», которые производят электрокабели, алюминиевые автомобильные диски и т.п.

Известно, что в мире около 14 % от потребляемого алюминия используется в электротехнике [1, 2].



Рисунок 1 – Структура мирового потребления алюминия по отрасли

Первичный алюминий регламентируется ГОСТ 11069-2001 и делится по маркам от А99 – А0, основными из которых являются А8, А7, А7Е (Таблица 1).

Таблица 1 – Марки алюминия по ГОСТ 11069-2001

Марка	Примесь, %, не более									Алюминий, %, не менее
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ga	Ti	Прочие примеси (каждой)	
А85	0,06	0,08	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,008	0,02	99,85
А8	0,10	0,12	0,01	0,02	0,02	0,04	0,03	0,01	0,02	99,80
А7	0,15	0,16	0,01	0,03	0,02	0,04	0,03	0,01	0,02	99,70
А7Е	0,08	0,20	0,01	-	0,02	0,04	0,03	0,01	0,02	99,70

Наиболее часто встречающимися примесями в алюминии являются окись алюминия, водород и другие примеси (окислы, углерод, карбиды, интерметаллиды и т.д.) [4–10].

Большинство примесей переходят в алюминий в процессе электролиза из электролита под действием высоких температур (Li, Na, Ca и др.). Данные примеси характерны тем, что приводят к возникновению микропористости, снижению механических свойств, увеличению усадки. На данный момент для удаления вышеуказанных примесей применяются: обработка газами, флюсовое рафинирование, фильтрование с применением угольных фильтров [9].

Оксиды, шпинели, нитриды, силикаты, карбиды и интерметаллиды попадают в алюминий в процессе электролиза от взаимодействия жидкого алюминия с воздухом, плохого качества сырья, эрозии огнеупоров. Данные примеси помимо снижения механических свойств и возникновения дефектов также влияют на снижении электропроводности алюминия. Помимо вышеназванных способов для удаления тяжелых примесей (в особенности интерметаллидов) также применяется отстаивание [9, 10].

Наиболее вредной примесью, снижающей электропроводность алюминия является ванадий, находящийся в том же состоянии что и интерметаллиды Ti [7, 10–14]. Ванадий, находясь в системе Al-V образует интерметаллиды Al<sub>21</sub>V<sub>2</sub>, Al<sub>45</sub>V<sub>7</sub>, Al<sub>23</sub>V<sub>4</sub>, Al<sub>3</sub>V, Al<sub>9</sub>V<sub>5</sub> [7, 10–14].

Из работы [6] известно, что источниками появления ванадия и других примесей в алюминии при электролизном производстве являются материалы (таблица 2).

Таблица 2 – Источники появления ванадия и других примесей в алюминии при электролизном производстве (грамм / 1 тонну Al)

Источник поступления	Si	Fe	Ti	P	V	Zn	Ga
Глинозем	123,0	348,0	67,0	16,0	24,0	60,0	131,0
Анодная масса	173,0	227,0	3,0	4,0	33,0	1,0	2,0
Криолит	19,0	31,0	1,0	5,0	2,0	-	-
Конструктивные элементы, инструмент	200	223	-	-	-	-	-
Сумма поступлений	515,0	829,0	71,0	25,0	29,0	61,0	133
Перешло в алюминий	473,0	451,0	25,0	5,0	20,0	48,0	65

В последние годы наметилась тенденция вовлечения в производство менее качественных источников сырья для производства анодов, что приводит к увеличению примесей в алюминии. В основном это связано с добычей тяжелой нефти (в состав которой входят соединения асфальтенов). В асфальтенах концентрируются примеси металлов (Fe, Si, V, Ni и др.), которые при коксовании переходят в кокс, а затем и в алюминий [10].

В ряде работ [10–13] предложены способы рафинирования первичного алюминия от примесей ванадия, которые не нашли широкого промышленного применения. Перспективным направлением исследований является использование флюсов и лигатур на основе бора при рафинировании алюминия для связывания ванадия в интерметаллид и дальнейшего удаления из расплава. Известны промышленные испытания по ряду направлений. Первый вариант включал ввод борной кислоты (H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>) в электролизер (ежесуточно по 3 кг). Данный способ показал хорошие результаты рафинирования, но снижение стойкости подины электролизера. Второй способ заключался в подаче флюса на основе борной кислоты в процессе разлива алюминия в литейном отделении непосредственно в изложницу литейной машины. Данный способ показал незначительное снижение содержания ванадия (на 4–6 ppm). Третьим вариантом использования бора являлся его ввод в состав анодной массы при производстве обожженных анодов (до 3 кг на один анод). Данный способ также не дал ощутимых результатов по снижению содержания ванадия в готовом алюминии.

Таким образом, решение вопроса успешного удаления ванадия из расплавов алюминия имеет большое значение для дальнейшего развития алюминиевого кластера Казахстана.

### Материалы и методы

В работе проведены экспериментальные исследования по флюсовому рафинированию алюминий-сырца борной кислотой ( $H_3BO_3$ ). Выбор борной кислоты обусловлен ее доступностью и дешевизной по сравнению с лигатурой Al-V.

Плавка осуществлялась в индукционной тигельной печи (с перемешиванием расплава) и в отражательной печи (без перемешивания расплава).

Средний химический состав алюминия-сырца представлен в таблице 3.

Таблица 3 – Средний химический состав алюминия-сырца, %

Печь	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Ni	Cr	Ti	V
ИАТ	96,1299	3,2557	0,4105	0,0071	0,0032	0,0239	0,0115	0,001	0,0323	0,0132
САТ	93,0534	6,0323	0,3980	0,1118	0,0044	0,0453	0,0121	0,0001	0,0166	0,01

В индукционной тигельной печи и печи сопротивления был переплавлен алюминий-сырец. При температуре  $850\text{ }^\circ\text{C}$  под уровень металла вводилась борная кислота  $H_3BO_3$  из расчета 1,2–2 кг/т алюминия-сырца. Металл выдерживался в печи в течении 15 минут. Металл последовательно сливался в три ковша для определения содержания ванадия в порциях металла в начале, середине и конце разливки.

По окончании экспериментов осуществлялось измерение химического состава рафинированного алюминия-сырца на оптико-эмиссионном спектрометре ДФС-500 (на каждой пробе делалось 3 измерения – внешний край, центр сечения и середина радиуса).

Таблица 4 – Результаты лабораторных испытаний по удалению ванадия из алюминия-сырца

Печь	Начальное содержание V, [%]	Расход материалов, грамм	Расход $H_3BO_3$ , [кг/т Al]	Содержание V после эксперимента, [%]		
				Начало разливки	Середина разливки	Окончание разливки
ИАТ	0,0132	Al = 850; $H_3BO_3 = 2$	2,353	0,0056	0,0057	0,0057
САТ	0,01	Al = 901; $H_3BO_3 = 2,1$	2,36	0,0067	0,0134	0,0108

### Результаты и обсуждение

Анализ данных в таблице 4 показывает следующее:

1) Борная кислота ( $H_3BO_3$ ) при расходе около 2,35 кг / тонну Al позволяет снизить содержание примесей ванадия в алюминии-сырце.

2) Параллельно наблюдается снижение содержания примесей других металлов (Si, Cu, Mn, Mg).

3) Установлено, что при индукционной плавке степень удаления всех примесей выше, чем при отражательной плавке (таблица 5).

Таблица 5 – Степень удаления примесей из алюминия сырца

Химический элемент	Степень удаления примесей, %	
	Индукционная плавка	Отражательная плавка
V	47,7	22,5
Si	97,9	43,9
Cu	17,6	5,0
Mn	50,0	4,55
Mg	47,7	22,5

Таким образом, можно заключить, что перемешивание расплава алюминия-сырца позволяет повысить степень удаления ванадия и других примесных элементов.

4) Установлено, что распределение примесных элементов после обработки борной кислотой ( $H_3BO_3$ ) в объеме металла неравномерное.

Наблюдается увеличение содержания интерметаллидов ванадия в нижней части ковша (при окончании разливки), при этом перемешивание в индукционной печи обеспечивает более равномерное распределение элементов по высоте ковша.

#### **Выводы**

1) Лабораторными экспериментами установлено, что применение борной кислоты ( $H_3BO_3$ ) снижает содержание ванадия в алюминии-сырце в среднем на 22,5–47,7 %, причём эффективность удаления увеличивается при перемешивании расплава.

2) Параллельно наблюдается снижение содержания в алюминии-сырце примесей других металлов (Si, Cu, Mn, Mg) при обработке борной кислотой ( $H_3BO_3$ ).

3) Установлено неравномерное распределение интерметаллидов ванадия в объеме ковша, наблюдается увеличение содержания интерметаллидов ванадия в нижней части ковша (при окончании разливки), при этом перемешивание в индукционной печи обеспечивает более равномерное распределение элементов по высоте ковша.

#### **Список использованных источников**

1 Государственная программа индустриально-инновационного развития Республики Казахстан на 2020–2025 годы, утвержденная Правительством Республики Казахстан от 31 декабря 2019 года № 1050.

2 Стратегия развития Павлодарской области до 2030 года, утвержденной Акимом Павлодарской области от 27 марта 2015 года (протокол № 85/3).

3 **Ибрагимов, А. Т.** Электротехнология алюминия. Казахстанский электролизный завод / А. Т. Ибрагимов, Р. В. Пак. – Павлодар : Дом печати, 2009. – 263 с.

4 **Добаткин, В. И.** Слитки алюминиевых сплавов. – М. : Металлургиздат, 1960. – 175 с.

5 Курдюмов, А. В., Инкин, С. В., Чулков, В. С., Графас, Н. И. Флюсовая обработка и фильтрование алюминиевых расплавов. – М. : Metallurgia, 1980. – 196 с.

6 Курдюмов, А. В., Инкин, С. В., Чулков, В. С. и др. Металлические примеси в алюминиевых сплавах. – М. : Metallurgia, 1988. – 141 с.

7 Напалков, В. И., Махов, С. В. Легирование и модифицирование алюминия и магния. – М. : МИСиС, 2002. – 376 с.

8 Polmear, I. Light Alloys: 4th Edition. – Butterworth-Heinemann, 2005. – 416 p.

9 Пискарев, Д. В. Разработка технологии рафинирования алюминия от примесей щелочных и щелочноземельных металлов : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – М. : ГИИЦВЕТМЕТ, 2007. – 182 с.

10 Горланов, Е. С. Легирование катодов алюминиевых электролизеров методом низкотемпературного синтеза диборида титана : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. – СПб. : Санкт-Петербургский горный университет, 2020. – 391 с.

11 Khaliq, A., Rhamdhani, M. A., Brooks, G. A., Grandfield, J. F. Removal of Vanadium from Molten Aluminum-Part I. Analysis of VB<sub>2</sub> Formation, Metallurgical and Materials Transactions B volume 45, DOI <https://doi.org/10.1007/s11663-013-9974-x> (2014). – P. 752–768.

12 Khaliq, A., Rhamdhani, M. A., Brooks, G. A., Grandfield, J. F. Removal of Vanadium from Molten Aluminum – Part II. Kinetic Analysis and Mechanism of VB<sub>2</sub> Formation, Metallurgical and Materials Transactions B, DOI: 10.1007/s11663-013-9975-9 (2013) 769–783.

13 Khaliq, A., Rhamdhani, M. A., Brooks, G. A., Grandfield, J. F. Removal of Vanadium from Molten Aluminum – Part III. Analysis of Industrial Boron Treatment Practice, Metallurgical and Materials Transactions B, DOI: 10.1007/s11663-013-9975-9 (2013). – 769–783.

14 Лякишев, Н. П. Диаграммы состояния двойных металлических систем : справочник : В 3 т.: Т. 1 / М. : Машиностроение, 1996. – 992 с.

## References

1 Gosudarstvennaya programma industrialno-innovacionnogo razvitiya Respubliki Kazakhstan na 2020 – 2025 gody, utverzhennaya Pravitelstvom Respubliki Kazakhstan ot 31 dekabrya 2019 goda № 1050.

2 Strategia razvitiya Pavlodarskoj oblasti do 2030 goda, utverzhdennoi Akimatom Pavlodarskoj oblasti ot 27 marta 2015 goda (protokol № 85/3).

3 Ibragimov, A. T. Electrometallurgia aluminiya. Kazakhstanskiy elektroliznyi zavod / A. T. Ibragimov, R. V. Pak. – Pavlodar : Dom pechati, 2009. – 263 p.

4 Dobatkin, V. I. Slitki aluminiyevykh splavov. – М. : Metallurgizdat, 1960. – 175 s.

5 Kurdumov, A. V., Inkin, S. V., Chulkov, V. S., Grafas, N. I. Flusovaya obrabotka i filtrovanie aluminiyevykh rasplavov. – М. : Metallurgia, 1980. – 196 p.

6 Kurdumov, A. V., Inkin, S. V., Chulkov, V. S. и др. Metallicheskie primesi v aluminiyevykh splavah. – М. : Metallurgia, 1988. – 141 p.



7 **Napalkov, V. I., Mahov, S. V.** Legirovanie I modifitsirovanie aluminiya i magna. – M. : MISiS, 2002. – 376 p.

8 **Polmear, I.** Light Alloys: 4th Edition. – Butterworth-Heinemann, 2005. – 416 p.

9 **Piskarev, D. V.** Razrabotka tehnologii rafinirovaniya aluminiya ot primesei chelochnyh I chelochnozemelnyh metallov : : dissertatsiya na soiskanie uchenoi stepeni kandidata tehnikeskikh nauk. – M. : GINCVETMET, 2007. – 182 p.

10 **Gorlanov, E. S.** Legirovanie katodov aluminiyevykh elektrolizerov metodom nizkotemperaturnogo sinteza diborida titana : dissertatsiya na soiskanie uchenoi stepeni doktora tehnikeskikh nauk. – SPb. : Sankt-Peterburgskiy gornyi universitet, 2020. – 391 s.

11 **Khaliq, A., Rhamdhani, M. A., Brooks, G. A., Grandfield, J. F.** Removal of Vanadium from Molten Aluminum-Part I. Analysis of VB<sub>2</sub> Formation, Metallurgical and Materials Transactions B volume 45, DOI <https://doi.org/10.1007/s11663-013-9974-x> (2014). – P. 752–768.

12 **Khaliq, A., Rhamdhani, M. A., Brooks, G. A., Grandfield, J. F.** Removal of Vanadium from Molten Aluminum—Part II. Kinetic Analysis and Mechanism of VB<sub>2</sub> Formation, Metallurgical and Materials Transactions B, DOI: 10.1007/s11663-013-9975-9 (2013). – P. 769–783.

13 **Khaliq, A., Rhamdhani, M. A., Brooks, G. A., Grandfield, J. F.** Removal of Vanadium from Molten Aluminum—Part III. Analysis of Industrial Boron Treatment Practice, Metallurgical and Materials Transactions B, DOI: 10.1007/s11663-013-9975-9 (2013). – P. 769–783.

14 **Lyakishev, N. P.** Diagrammy sostoyaniya dvoynykh metallicheskih sistem : spravochnik : V 3 t.: T. 1 / M. : Mashinostroenie, 1996. – 992 p.

Материал поступил в редакцию 15.06.21.

*\*П. О. Быков<sup>1</sup>, А. Б. Куандыков<sup>2</sup>, А. К. Жуусов<sup>3</sup>,*

*М. Ж. Тусіпбекова<sup>4</sup>, Д. Р. Абсолямова<sup>5</sup>*

<sup>1,2,3,4,5</sup>Торайғыров университеті,

Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

Материал 15.06.21 баспаға түсті.

## ҚҰРАМЫНДА БОР БАР АЛЮМИНИЙ ШИКІЗАТТАРЫН ТАЗАРТУ

*Жұмыста құрамында бор бар флюстермен флюстік өңдеуге негізделген ванадий қоспаларынан шикі алюминийді тазарту технологиясы зерттелген.*

*Қазақстан Республикасының Павлодар облысында жергілікті кәсіпорындар базасында бастапқы алюминий және жергілікті шикізат негізінде бұйымдар өндірісі дамуда.*

*«Қазақстан электролиз зауыты» АҚ базасында бастапқы алюминий өндіру кезіндегі туындайтын негізгі проблема ретінде құрамында ванадий мөлшері жоғары жергілікті қыздырылған кокстан жасалынған күйдірілген анодтардан электролиз кезінде металға өтетін ванадийдің жағымсыз қоспаларының болуы болып табылады («УПНК-ПВ» ЖШС, Павлодар қ., Қазақстан).*

*Жұмыста ишкі алюминийді бор қышқылымен ( $H_3BO_3$ ) флюстік тазарту бойынша эксперименттік зерттеулер жүргізілді. Бор қышқылын таңдауы Al-B лигатурасымен салыстырғанда оның қол жетімділігі мен арзандылығына байланысты.*

*Зертханалық тәжірибелер көрсеткендей, бор қышқылын ( $H_3BO_3$ ) қолдану алюминий ишкізатындағы ванадий мөлшерін орта есеппен 22,5–47,7 % төмендетеді, сонымен қатар, балқыманы араластырған кезде жою тиімділігі артады.*

*Бор қышқылымен ( $H_3BO_3$ ) өңдеу кезінде алюминий ишкізатында басқа металдар қоспаларының (Si, Cu, Mn, Mg) төмендеуі байқалады.*

*Кілтті сөздер: алюминий, флюстік тазарту, ванадий, бор, электролиз.*

**\*P. O. Bykov<sup>1</sup>, A. B. Kuandykov<sup>2</sup>, A. K. Zhunusov<sup>3</sup>,**

**M. Zh. Tussupbekova<sup>4</sup>, D. R. Absolyamova<sup>5</sup>**

<sup>1,2,3,4,5</sup>Toraighyrov University,

Republic of Kazakhstan, Pavlodar.

Material received on 15.06.21.

## REFINING OF RAW ALUMINUM WITH BORON -CONTAINING MATERIALS

*The paper investigates the refining technology of raw aluminum from vanadium impurities, based on flux treatment with boron-containing fluxes.*

*In the Pavlodar region of the Republic of Kazakhstan, on the basis of local enterprises, the production of primary aluminum and products based on local raw materials is developing.*

*The main problem in the primary aluminum production on the JSC «Kazakhstan Electrolysis Plant» basis is the presence of undesirable vanadium impurities, which pass into metal during electrolysis from baked anodes produced from local calcined coke with a high vanadium content (UPNK-PV LLP, Pavlodar, Kazakhstan). In this work, experimental research about flux refining of raw aluminum with boric acid ( $H_3BO_3$ ) have been carried out. The choice of boric acid is due to its availability and low cost in comparison with the Al-B ligature.*

*Laboratory experiments have established that the use of boric acid ( $H_3BO_3$ ) reduces the vanadium content in raw aluminum by an average of 22.5–47.7 %, and the removal efficiency increases with stirring the melt.*

*There is a decrease in the content of impurities of other metals (Si, Cu, Mn, Mg) in the raw aluminum during treatment with boric acid ( $H_3BO_3$ ).*

*Keywords: aluminum, flux refining, vanadium, boron, electrolysis.*

Теруге 15.06.21 ж. жіберілді. Басуға 29.06.21 ж. қол қойылды.  
Электрондық баспа  
3,99 Мб RAM  
Шартты баспа табағы 13,9. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.  
Компьютерде беттеген З. С. Искакова  
Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс № 3809

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған  
Торайғыров университеті  
140008, Павлодар қ., Ломов көш., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы  
Торайғыров университеті  
140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.  
67-36-69

e-mail: kereku@tou.edu.kz  
nitk.tou.edu.kz