

<https://doi.org/10.51301/ejsu.2022.i5.03>

## Influence of fluxing additives on aluminothermic synthesis of aluminum borides

I. Allan<sup>1,2</sup>, S. Aknazarov<sup>1,2</sup>, O. Golovchenko<sup>1,2</sup>, O. Bairakova<sup>2</sup>, Ye. Ponomareva<sup>2</sup>, A. Mutushev<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

<sup>2</sup>«Zhalyn» LLP, Almaty, Kazakhstan

\*Corresponding author: [alibek\\_090@mail.ru](mailto:alibek_090@mail.ru)

**Abstract.** In the article, the influence of fluxing additives on the kinetics of the process and the yield of the alloy is investigated. It has been proven that the use of fluoride salts, in particular CaF<sub>2</sub>, in an amount from 15.0 to 18.0% contributes to an increase in the burning rate of the charge, the formation of mobile liquid slags that improve phase separation; at 6.7-8.0%, the maximum yield of the alloy occurs. The features of the use of fluxing additives in aluminothermic processes, the dependences of the charge burning rate based on the B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Al system on the amount of flux were determined. The choice of a flux and the determination of its optimal amount, which provides the necessary physicochemical properties of the slag melt, which contributes to the formation of an ingot of aluminum borides, more complete phase separation, were carried out, experiments were carried out using: calcium oxide, fluorspar, potassium chlorides, potassium tetrafluoroborate in various combinations. The effectiveness of using potassium tetrafluoroborate as a fluxing additive mixed with fluorspar to increase the yield of the alloy and increase the boron content in it is analyzed.

**Keywords:** aluminum, boric anhydride, fluxes, boride, SHS, slag, phase separation.

### 1. Кіріспе

Машина жасау үшін қорытпаларды өндірудің әзірленген жоғары энергетикалық технологиясы қалдықсыз өндіріс талаптарын толығымен қанағаттандырады. Бор және алюминий қорытпаларын алу процесі ғылымдағы салыстырмалы түрде жаңа бағыт - өздігінен таралатын жоғары температуралық синтез режимінде химиялық реакциялардың энергиясын пайдалануға негізделген. Өздігінен таралатын жоғары температуралық синтез (ӨЖС) технологиясын енгізу оңай, кезеңдері аз, жоғары тазалықтағы мақсатты өнімдерді алуға мүмкіндік береді және энергияны қажет етпейді. Сонымен қатар, ӨЖС-синтезі коммерциялық қосалқы өнімдерді алуға мүмкіндік береді, күрделі аспаптар мен кешенді тазарту шараларын қажет етпейді және экологиялық таза.

Бұл жұмыста ӨЖС режимінде бор ангидридінен алюминий боридтерін алудың алуминотермиялық әдісі зерттелді, бұл экзотермиялық реакциялардың жоғары энергиялары есебінен берілген құрамдағы материалдар мен қорытпаларды алуға мүмкіндік береді.

Алюминий боридтерін алу өте күрделі технологиялық процесс. Бор ангидридін пештік алуминотермиялық тотықсыздандыруға негізделген әдістер ең көп зерттелген. Бұл процесің ұзақтығы 1.5 күнді құрайды [1-3]. Бор ангидриді қиын тотықсыздандырылатын оксидтердің бірі болғандықтан және алынған алюминий оксидінің балқу температурасы жоғары болғандықтан, ұзақ уақыт бойы қанағаттанарлық технологиялық нәтижеге қол жеткізу мүмкін болмайды. Қоспаны 1773 К дейін қыздырғанда да қож тәрізді масса пайда болады,

одан алюминий боридтерін алу көп еңбекті қажет ететін процесс. ӨЖС технологиясын қолдану және сәйкес флюстік компоненттерді таңдау одан әрі пайдалану үшін мақсатты компонентті және тауарлық шлактарды алудың жоғары дәрежесі бар боридтерді алу процесін оңтайландыруға мүмкіндік береді.

Бор-алюминий қорытпаларын өндіруде флюстерді пайдалану процесін оңтайландыру үшін сілтілі және сілтілі жер металл галогенидтерінің қоспаларын пайдалануға болады. Мұндай қоспалар ыңғайлы, өйткені оларды беттік керілуді азайту және балқыманың сулануын жақсарту арқылы ӨЖС режимінде бақыланатын тығыздығы мен балқу температурасы бар қорытпаларды алуға болады. Айта кету керек, басқалары бірдей, балқытылған хлоридтер қатты беттерді тиісті металдардың фторидтерінен жақсырақ ылғалдандырады [1,2].

Аралас флюстік қоспалардың қасиеттері көбінесе бастапқы тұздардың қасиеттеріне байланысты. Соңғы жылдары балқытылған фторидтер флюстерінде алюминий боридтерін алу әдісі ерекше қызығушылық тудырады [2,3].

Бұл технологияны әзірлеу үшін боридтерді өздігінен таралатын жоғары температуралық синтез әдісімен алу мүмкіндігін бағалау үшін есептеулер жүргізілді.

B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Al жүйесінің жану заңдылықтары пештен тыс алуминотермиялық әдіспен эксперименталды түрде зерттелді. Флюсті қоспалар мөлшерінің процесің параметрлеріне - кинетикасына, қажетті жылу, температура, мақсатты компоненттің шығымы - әсері анықталды.

Флюсті қоспалардың алюминотермиялық шихталардың балқу жылдамдығына әсері олардың тотықсыздану процесіндегі технологиялық рөлімен анықталады. Шихтаның құрамына флюстерді енгізудің негізгі мақсаты металл және қож фазаларын неғұрлым толық бөлуді қамтамасыз ететін белгілі бір физика-химиялық сипаттамалары бар шлак балқымаларын алу болып табылады. Негізгі флюсті материалдарға кальций мен магний оксидтері, плавикті шпаты жатады. Олардың процестің жылдамдығына әсері әртүрлі.

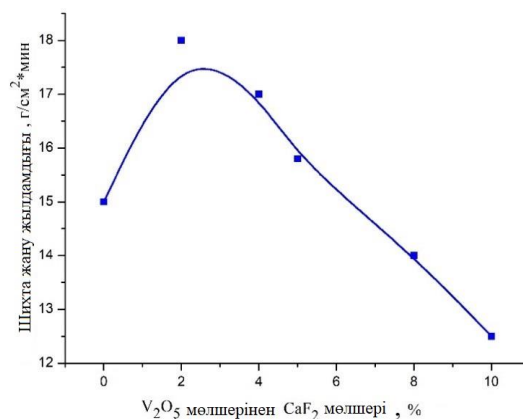
Шихтаның құрамына кальций мен магний оксидтерін енгізу кезінде реакцияның басталуының күрт күшеюі байқалмайды. Шихтада қолданылатын, балқу температурасы технологиялық температурадан асатын қатты кальций оксиді сұйық жоғары алюминий тотығы бар шлактарда еру есебінен балқымаға өтеді. Экзотермиялық реакциялардың жылуы есебінен балқу, кальций мен магний оксидтері балқыманың температурасын және соның салдарынан тұтастай алғанда шихтаның жану жылдамдығын төмендетеді. Титан, ванадий, ниобий және басқа қорытпалардың ферроқорытпаларын балқыту кезінде осы оксидтердің қосылуына байланысты шихтаның балқу жылдамдығының төмендеуінің заңдылықтары [4,5] белгіленген.

Шихтаның жану жылдамдығына плавикті шпат қоспалары басқаша әсер етеді. Алюминотермиялық тотықсыздандуды плавикті шпатпен активтендіру, ең алдымен, оның таза алюминий оксидінің балқу температурасымен салыстырғанда балқыманың сұйықтану температурасының төмендеуіне байланысты алюминий тотығын еріту қабілетімен түсіндіріледі [5]. Бұл, біріншіден, тотықсыздандырғыш бөлшектердің бетінен қатты оксидті қабықшаны кетіруге көмектеседі, екіншіден, глиноземнің еруін қамтамасыз етеді. Нәтижесінде сұйық балқымалардың өзара әрекеттесуінің басталу температурасы төмендейді және реагенттердің олардың диффузиясы жеңілдейді, бұл, шамасы, жану жылдамдығының да, металл шығымының да жоғарылауын түсіндіреді. 1-суретте шихтада кальций оксиді CaO және плавикті шпат CaF<sub>2</sub> болған кезде ванадийдің жануы кезінде шихтаның жану жылдамдығының графикалық тәуелділігі көрсетілген [6].

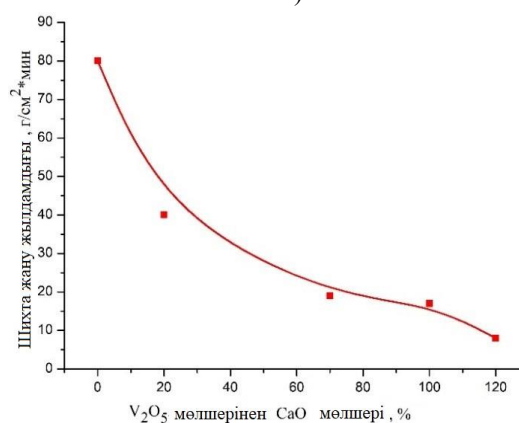
## 2. Әдістер және материалдар

Флюстың жану жылдамдығына және қорытпаның шығымына әсерін зерттеу үшін құрамында кальций оксиді және кальций фториді бар шихтамен тәжірибелер жүргізілді. Оксид мөлшері алюминий мөлшерінің 10-нан 50%-ға дейін өзгерді. Барлық тәжірибелерде негізгі компоненттердің құрамы тұрақты болып қалды, тек флюстік қоспалардың құрамы өзгерді. Шихтаның барлық компоненттері бірдей гранулометриялық құрамға ие болды. Қолданар алдында кальций оксиді күйдірілді. 2-суретте бор оксиді мен алюминийге негізделген жүйенің жану жылдамдығының флюстік қоспалар мөлшеріне графикалық тәуелділігі көрсетілген.

CaO-ны флюс ретінде қосқанда жану жылдамдығының төмендеуінің себебі кальций оксидін балқыту үшін жылу шығыны есебінен шихтаның жануын нашарлататын процесс температурасының төмендеуі болып табылады [6].

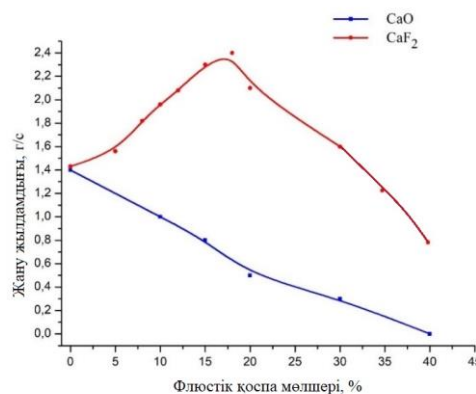


а)



б)

1-сурет. V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Al жүйесінің шихтаның жану жылдамдығына флюстік қоспа мөлшерінің әсері



2-сурет. V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Al жүйесі негізінде шихтаның жану жылдамдығының флюс мөлшеріне тәуелділігі

Фторидті тұздардың қосылуы фазалардың бөлінуін жақсартатын жылжымалы сұйық шлактардың пайда болуына ықпал етеді.

ӨЖС режимінде алюминотермиялық тотықсыздану кезінде оксидтерден металдар мен қорытпаларды алу дәрежесі бірқатар факторларға байланысты. Солардың бірі - металл және шлак фазаларының толық бөлінуі және құйманың түзілуі. Алюминотермиялық процестің құрамдас бөлігі болып табылатын шлақтың құрамы балқыманың физика-химиялық қасиеттерін анықтайды: тұтқырлық, қату температурасы, фазааралық әрекеттесу, беттік қасиеттері, тығыздығы, қож компоненттерінің термодинамикалық белсенділігі және т.б.

Алюминотермиялық процесінің спецификалық ерекшелігі қождың үлкен көптігі және дисперсті тамшылар түріндегі металл фазасының пайда болуы, металл бөлшектерінің шөгуі нәтижесінде қорытпа құймасы түзіледі. Сондықтан қож балқымасының тұтқырлығы металл құймаларының түзілу процесінің жылдамдығына әсер етеді. Бұл әсер ең алдымен металдың тұндыру жылдамдығы тұтқырлыққа кері пропорционалды болуымен көрінеді. Сонымен қатар, қождың тұтқырлығының жоғарылауы әртүрлі өлшемдегі металл тамшыларының соқтығысу тиімділігін төмендетеді және оның қосылу уақытын арттырады және

нәтижесінде қожда қалған түйіршіктер түріндегі жоғалтуларды арттырады [7].

Қождың тұтқырлығы көбінесе процесінің техникалық-экономикалық көрсеткіштерін анықтайды. Алюминотермиялық шлактардың негізгі құрамдас бөлігі алюминий оксидінің тұтқырлығы балқу температурасына жақын жерде салыстырмалы түрде төмен және 0.06 Па·с, ал 2373 К температурада 0.05 Па·с құрайды [8]. 1-кестеде бор қорытпаларын алу үшін алюминотермиялық процестер кезінде түзілетін боры бар шлактардың құрамы және олардың әртүрлі температурадағы тұтқырлығы көрсетілген [8].

1-кесте. Құрамында боры бар шлактардың химиялық құрамы және тұтқырлығы

Шлак нөмірі	Химиялық құрамы, %				Тұтқырлық, Па·с, температурада, К							Кристаллизация басталу температурасы, К
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2173	2123	2073	2023	1973	1873	1773	
1	70.1	12.0	6.5	8.8	–	–	0.12	0.12	0.17	0.70	1.51	1993
2	60.7	19.0	5.1	7.7	–	–	0.15	0.15	0.16	0.36	4.00	1863
3	72.5	21.2	2.6	1.8	–	–	0.14	0.13	0.14	1.15	–	1933

2023-2073 К температурада шлақтың тұтқырлығы 0.15 Па·с аспайды. Еріген қождың температурасы төмендеген сайын оның кристалдануы басталады, ал қорытпаның түзілген тамшылары шлакта «қалып қалады».

Құйманың түзілу процесі мен қорытпаның толық алынуына балқымалардың тығыздығы да әсер етеді. Кейбір алюминотермиялық қорытпалардың және кальций, барий, бор, титан, кремний сияқты элементтері бар негізгі қорытпалардың тығыздығы алынған қождың тығыздығына жақын болуы мүмкін, г/см<sup>3</sup>: Ва – 3.57; Са – 1.44; Тi – 4.11; В – 2.3 [9]; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 3.0 [10]; алюминий боридтері – 2.8-3.19 [11], бұл құйма түзілудің қалыпты процесінің бұзылуына әкеледі. Алюминий тотығы қожының тығыздығының төмендеуі бүкіл балқыма температурасының жоғарылауымен мүмкін болады, 200°С жоғарылау қож тығыздығын 0.05–0.07 г/см<sup>3</sup> төмендетеді [13]. Бор ангидридін тотықсыздану процесінің температурасында шлақтың тығыздығы 2.7-2.6 г/см<sup>3</sup> [12,13].

Сондықтан қождың оңтайлы тығыздығы мен металл компонентінің беттік керілуін қамтамасыз ететін физика-химиялық қасиеттері бар балқыманы алу үшін алюминотермиялық шихтаға флюстік қоспалар енгізіледі.

Бор-алюминий қорытпаларын өндіруде флюстерді пайдалану процесін оңтайландыру үшін сілтілі және сілтілі жер металл галогенидтерінің қоспаларын пайдалануға болады. Мұндай қоспалар ыңғайлы, өйткені оларды беттік керілуді азайту және балқыманың сулануын жақсарту арқылы ӨЖС режимінде бақыланатын тығыздығы мен балқу температурасы бар қорытпаларды алуға болады. Айта кету керек, басқалары бірдей, балқытылған хлоридтер қатты беттерді тиісті металдардың фторидтерінен жақсырақ ылғалдандырады [12].

Флюстік қоспалардың қасиеттері көбінесе бастапқы тұздардың қасиеттеріне байланысты. Соңғы жылдары балқытылған фторидтер флюстерінде алюминий боридтерін алу әдісі ерекше қызығушылық тудырады [13].

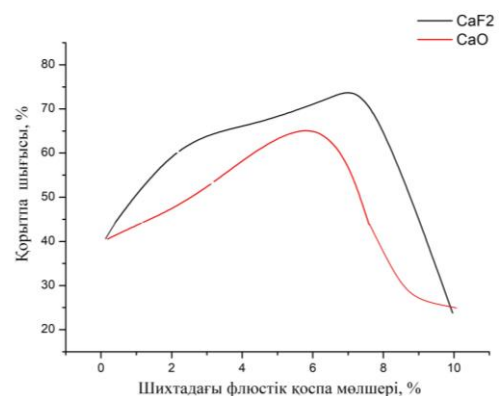
Алюминий боридтерінің құймасының түзілуіне ықпал ететін қож балқымасының қажетті физикалық-химиялық

қасиеттерін қамтамасыз ететін флюсті таңдау және оның оңтайлы мөлшерін анықтау үшін фазаларды неғұрлым толық бөлу, мыналарды қолдану арқылы тәжірибелер жүргізілді: кальций оксиді, плавикті шпат, натрий және калий хлоридтері, әртүрлі комбинациялардағы калий тетрафторбораты қолданылды.

Барлық тәжірибелерде шихтаның негізгі құрамдас бөліктерінің - В<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al, КNO<sub>3</sub>-тің ұсақтығы мен қатынасы өзгеріссіз қалды, тек флюсті қоспалардың мөлшері мен құрамы өзгерді.

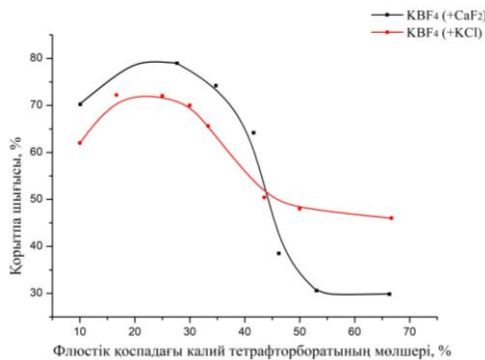
Al-В жүйесі үшін флюс ретінде кальций оксидін пайдалану реакция өнімдерінің фазалық бөлінуіне және бір қорытпа құймасының түзілуіне ықпал етпейді. Процестің экзотермиялық реакцияларының жылуы есебінен балқу, кальций оксиді балқыманың жалпы температурасын төмендетеді, бұл шлақтың реологиялық қасиеттерін нашарлатады.

Белгілі бір шекке дейін флюс ретінде шихтаға плавикті шпатты енгізу фазалардың бөлінуін және қорытпа құймасының түзілуін жақсартады (3-сурет).



3-сурет. Қорытпа шығымына флюс мөлшерінің әсерінің графикалық тәуелділігі

Сілтілік металдардың хлоридті және фторидті тұздарының флюс ретіндегі әсерінің графикалық тәуелділігі 4-суретте көрсетілген.



4-сурет. Борид қорытпасының шығуының хлорид пен фторидті тұздардың қолданылуына тәуелділігі

Белгілі бір шекке дейін хлорид тұздарын қосу балқымалардағы беттік керілудің төмендеуіне және процестің басында температураның төмендеуіне және фазалардың бөлінуінің жақсаруына әкеледі. Бірақ сонымен бірге хлоридтерді пайдалану экономикалық тиімді емес және экологиялық қауіпсіз емес.

Қорытпаның шығымдылығын арттыру және ондағы бор құрамын арттыру мақсатында плавикті шпатпен араластырылған калий тетрафторборатын флюстік қоспа ретінде пайдалану мүмкіндігі зерттелді. Флюстік қоспаның оңтайлы мөлшерін анықтау үшін калий тетрафторборатының әртүрлі мөлшерімен тәжірибелер жүргізілді.

5-суретте ӨЖС режимінде алынған алюминий борид қорытпасының үлгісі көрсетілген. Қорытпа үлгілері РСА әдісімен элементтік құрамы бойынша талданды.

### 3. Зерттеу нәтижелері және оны талқылау

2 және 3 кестелерінде флюс ретінде CaF<sub>2</sub> және оның KBF<sub>4</sub> қоспасы қолданылатын қорытпалардың элементтік құрамы көрсетілген. Қорытпаның төрт нүктесінде алынған спектрлердің орташа мәндері берілген.

2-кесте. Қорытпаның элементтік құрамы (флюс CaF<sub>2</sub>)

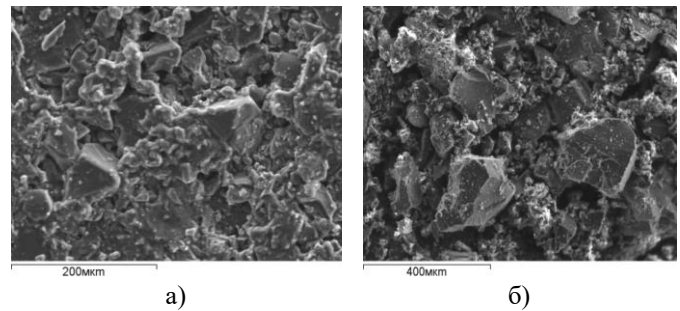
Спектр	B	O	Al	Si	K	Ca	Fe
Спектр 1	68.31	16.50	11.94	0.71	0.13	2.23	0.19
Спектр 2	67.94	16.64	12.12	0.93	0.08	2.18	0.11
Спектр 3	65.58	18.82	12.23	0.92	0.07	2.21	0.16
Орташа	67.28	17.32	12.10	0.86	0.09	2.21	0.15
Станд. ауытқу	1.48	1.30	0.15	0.12	0.03	0.02	0.04
Макс.	68.31	18.82	12.23	0.93	0.13	2.23	0.19
Мин.	65.58	16.50	11.94	0.71	0.07	2.18	0.11

3-кесте. Қорытпаның элементтік құрамы (флюс CaF<sub>2</sub> және KBF<sub>4</sub>)

Спектр	B	O	Al	Si	K	Ca	Fe
Спектр 1	80.19	13.09	5.62	0.32	0.04	0.71	0.04
Спектр 2	79.90	13.23	5.71	0.42	0.02	0.69	0.02
Спектр 3	77.88	15.10	5.82	0.42	0.02	0.71	0.04
Орташа	79.32	13.81	5.72	0.39	0.03	0.70	0.04
Станд. ауытқу	1.25	1.13	0.10	0.06	0.01	0.01	0.01
Макс.	80.19	15.10	5.82	0.42	0.04	0.71	0.04
Мин.	77.88	13.09	5.62	0.32	0.02	0.69	0.02



5-сурет. Алюминий борид қорытпасы



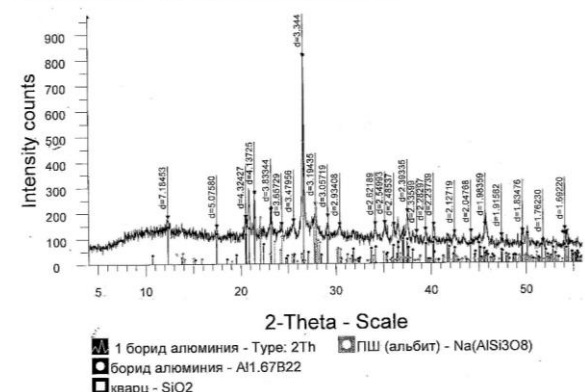
6-сурет. Алюминий борид қорытпаларының құрылымы: а – үлгі 1, б – үлгі 2

Талдау нәтижелері қоспаны пайдалану бордың қорытпаға алынуын арттыруға мүмкіндік беретінін көрсетті.

50 г В<sub>2</sub>О<sub>3</sub>-тен бордың максималды 100% алуы 15.52 г бор болуы керек. Жүргізілген талдаулар бойынша салмағы 31.31-36.10 г құймаларда 12.85-13.80 г бор бар, сондықтан бордың алынуы 80.00-89.00% құрайды.

РФА талдау бойынша негізгі фаза алюминий борид - 92.50% (7-сурет).

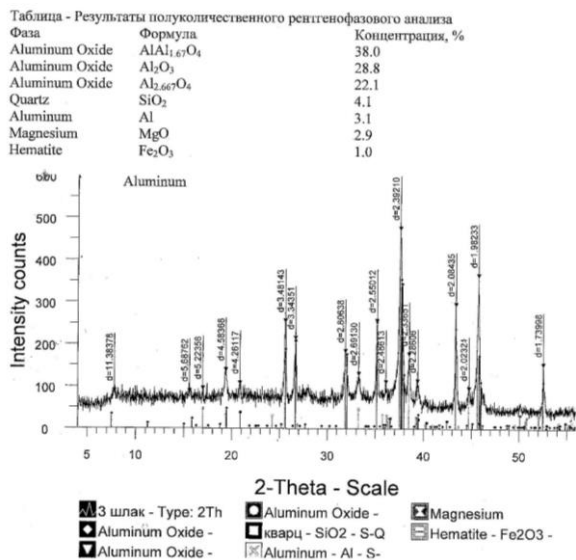
Таблица - Результаты полуколичественного рентгенофазового анализа  
 Фаза Формула Концентрация, %  
 борид алюминия Al<sub>1.67</sub>B<sub>22</sub> 92.5  
 кварц SiO<sub>2</sub> 6.1  
 ПШ (альбит) Na(AlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>) 1.4  
 ИСТИРАНИЕ ОБРАЗЦА ПРОВОДИЛОСЬ В АГАТОВОЙ СТУПКЕ. ВОЗМОЖНО, КРЕМНИЙ ПРИВНЕСЕН В ПРОЦЕССЕ ИСТИРАНИЯ.



7-сурет. Алюминий борид қорытпасының дифрактограмма үлгісі

Қорытпаның шығым теориялық 78.95% құрайды. Зерттеудің мақсаты - алюминий боридің ғана емес, сонымен қатар жанама өнімдерді, мысалы, клинкерлерді өндіруде алюминотермиялық шлактарды қолданудан тұратын синтез әдісінің қалдықсыздығы.

Алынған шлак үлгілері де фазалық құрамы бойынша талданды (8-сурет). Талдау боридтерді ӨЖС режимінде алу үшін алюминотермиялық процестің нәтижесінде алынған шлақтың жоғары глиноземді клинкерлерді өндіруге арналған шикізатқа қойылатын талаптарға сәйкес келетінін көрсетті, атап айтқанда алюминий оксидтерінің мөлшері 60% кем болмауы керек.



8-сурет. Шлақтың диффрактограмма үлгісі

Алюминотермиялық тотықсыздану кезінде металдарды оксидтерден алу дәрежесі бірқатар физика-химиялық факторларға байланысты, олардың бірі металл және шлак фазаларының толық бөлінуіне байланысты. Алюминотермияның спецификалық ерекшелігі қождың салыстырмалы түрде үлкен көптігі және шлак балқымасының қалыңдығы арқылы тұндырылған дисперсті металл тамшыларынан қорытпа құймасының түзілуі болып табылады. Бастапқы компоненттердің түріне және қоспалардың мөлшеріне байланысты шлактардағы алюминий оксидінің мөлшері кең ауқымда өзгереді, бірақ оның негізгі құрамдас бөлігі болып қалады. Алюминий оксидінің балқу температурасына жақын алюминотермиялық шлактар салыстырмалы түрде төмен тұтқырлыққа ие - 0,06 Па·с, 2373 К – 0.05 Па·с [10].

Құрамында бор қорытпаларының шлактары 2023-2073 К температурада 0.15 Па·с тұтқырлықтан аспайды. Балқыма температурасының 1973 К дейін төмендеуімен қождың тұтқырлығы 1.35 Па·с дейін артады.

Сонымен қатар, алюминотермиялық шлақтың тығыздығы қорытпа құймасының түзілуін анықтайтын факторлардың бірі болып табылады және балқыма температурасына байланысты. Сонымен қатар, алюминотермиялық шлақтың тығыздығы қорытпа құймасының түзілуін анықтайтын факторлардың бірі болып табылады және балқыма температурасына байланысты.

Металл және шлак фазаларын барынша бөлу үшін белгілі бір физикалық-химиялық сипаттамалары бар шлак балқымасын алу үшін шихтаға флюстік қоспалар енгізіледі. Флюстік қоспалардың әсер ету процесінің жылдамдығына және фазалардың бөлінуіне тәуелділігін анықтау бойынша жүргізілген тәжірибелердің

нәтижелері Al-B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> жүйесінде плавикті шпатты пайдалану жылжымалы сұйықтықтың түзілуіне байланысты оңтайлы екенін көрсетті.

Сондықтан флюстік қоспаның мөлшерінің қорытпа шығымына әсерін анықтау үшін CaF<sub>2</sub> плавикті шпат пайдаланылды. Зерттелетін композицияларда Al-B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> пайыздық қатынасы өзгеріссіз қалды. Эксперименттік мәліметтер 3-суретте көрсетілген.

#### 4. Қорытынды

Алюминий боридтерін алуда флюсті қоспалардың процестің кинетикасына және қорытпа шығымына әсері зерттелді, ең жақсы нәтиже плавикті шпатының 4.0-7.6% мөлшерінде алынды, бұл процестің жеткілікті температурасын, қождың тұтқырлығын және нәтижесінде фазалардың жақсы бөлінуін қамтамасыз етті. Флюс қоспасының одан әрі жоғарылауы қорытпа шығымының төмендеуіне әкелді. Бұл шихтаның жаппай жану жылдамдығының жоғарылауымен, бір қорытпа құймасын біріктіру уақытының азаюымен, балқыма тұтқырлығының жоғарылауымен және жылу жоғалтуымен шамадан тыс мөлшерде кальций оксидінің пайда болуы мүмкіндігімен түсіндіріледі.

Алюминий боридтерінің құймасының түзілуіне, фазалардың толық бөлінуіне ықпал ететін қож балқымасының қажетті физика-химиялық қасиеттерін қамтамасыз ететін флюсті таңдау және оның оңтайлы мөлшерін анықтау жүргізілді. Тәжірибелер: кальций оксиді, плавикті шпат, калий хлоридтері, әртүрлі комбинациялардағы калий тетрафторбораты қолданылды. Қорытпаның шығымдылығын арттыру және ондағы бор құрамын арттыру үшін калий тетрафторборатын плавикті шпатпен араластырылған флюстік қоспа ретінде пайдаланудың тиімділігі талданған.

Флюстік қоспалардың әсер ету процесінің жылдамдығына және фазалардың бөлінуіне тәуелділігін анықтау бойынша жүргізілген тәжірибелердің нәтижелері Al-B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> жүйесінде плавикті шпатты пайдалану жылжымалы сұйықтықтың түзілуіне байланысты оңтайлы екенін көрсетті.

#### Алғыс

Бұл зерттеу Қазақстан Республикасы Білім және Ғылым Министрлігінің Ғылым комитетінің қолдауымен АР08857190 "ӨЖС әдісімен әсер ететін заттардың экзотермиялық реакцияларының жылуы есебінен машина жасау үшін мақсатты материалдарды алудың қалдықсыз, жоғары энергетикалық технологиясын құру" гранты шеңберінде орындалды. Авторлар Қазақстан Республикасы Білім және Ғылым министрлігіне қаржылай қолдау көрсеткені үшін шын жүректен алғысын білдіреді.

#### Әдебиеттер / References

- [1] Luts, A.R. (2006). Self-propagating high-temperature synthesis of modifying master alloys and composite alloys in an aluminum melt with flux impurities (candidate dissertation). *Russia, Samara*
- [2] Kataev, A.A., Tkacheva, O.Yu., Molchanova, N.G., Zai-kov, Yu.P. (2019). Production of the Al-B master alloy by KBF<sub>4</sub> and B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> aluminothermic reduction in molten salt

- flux medium. *Izvestiya. Non-Ferrous Metallurgy*, (3), 20-29. <https://doi.org/10.17073/0021-3438-2019-3-20-29>
- [3] Pliner, Yu.L., Ignatenko, G.F. (1967). Reduction of metal oxides by aluminum. *Moscow: Metallurgiya*
- [4] Dubrovin, A.S., Kuznetsov, V.L., Chirkov, N.A., Rusanov, L.L. (1968). Influence of salt additives on the rate of aluminothermic processes. *USSR Academy of Sciences. Metals*, (5), 79-88
- [5] Lyakishev, N.P., Pliner, Yu.L., Ignatenko, G.F., Lappo, S.I. (1978). Aluminotermiy. *Moscow: Metallurgiya*
- [6] Elliott, J.F., Gleiser, M., Ramakrishna, V. (1969). Thermochemistry for steelmaking. *Moscow: Metallurgiya*
- [7] Ravdel, A.A., Ponomareva, A.M. (1998). Quick Reference Physico-Chemical Variables. *SPb.: Special literature*
- [8] Efimov, A.I., Belorukova, L.P., Vasil'kova, I.V. & Chechev, V.P. (1983). Svoystva neorganicheskikh soyedineniy (Spravochnik). *Leningrad: Khimiya*
- [9] Popel', S.I. (1994). Surface phenomena in melts. *Moscow: Metallurgiya*
- [10] Alchagirov, B.B., Karamurzov, B.S., Taova, T.M. & Khokonov, Kh.B. (2011). Density and Surface Properties of Liquid Alkali and Low-Melting Metals and Alloys. *Nal'chik: KBGU*
- [11] Aknazarov, S.Kh., Bayrakova, O.S., Seisenova, A.B., Golovchenko, O.Yu., Ponomareva, E.A. & Allan, I.K. (2021). Synthesis of aluminum borides in the SHS regime. *Utility model patent of the Republic of Kazakhstan § 6589*
- [12] Allan, I.K., Seisenova, A.B., Aknazarov, S.Kh., Mutushev, A.Zh., Kapizov, O.S. & Golovchenko, N.Yu. (2021). Creation of a waste-free, high-energy technology for obtaining target materials for mechanical engineering due to the heat of exothermic reactions of reactants by the SHS method. *International conference of students and young scientists "Farabi alemi", Almaty, Kazakhstan*
- [13] Allan, I.K., Bayrakova, O.S., Ponomareva, E.A., Mutushev, A.Zh. & Aknazarov, S.Kh. (2021). Determination of the conditions for the synthesis of aluminum borides by the shs method. *XI International Beremzhanov Congress on Chemistry and Chemical Technology, Almaty, Kazakhstan*

## Флюстік қоспалардың алюминий боридтерінің алюминотермиялық синтезіне әсері

И. Аллан<sup>1,2</sup>, С. Акназаров<sup>1,2</sup>, О. Головченко<sup>1,2</sup>, О. Байракова<sup>2</sup>, Е. Пономарева<sup>2</sup>, А. Мутушев<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

<sup>2</sup>«ҒӨТО «Жалын» ЖШС, Алматы, Қазақстан

\*Корреспонденция үшін автор: [alibek\\_090@mail.ru](mailto:alibek_090@mail.ru)

**Андатпа.** Мақалада флюсті қоспалардың процестің кинетикасына және қорытпа шығымына әсері зерттеледі. 15.0-ден 18.0%-ға дейінгі мөлшерде фторидті тұздарды, атап айтқанда CaF<sub>2</sub> қолдану шихтаның жану жылдамдығының артуына, фазалардың бөлінуін жақсартатын жылжымалы сұйық шлактардың түзілуіне ықпал ететіні дәлелденген; 6.7-8.0% болғанда, қорытпаның максималды шығымы орын алады. Алюминотермиялық процестерде флюстік қоспаларды қолдану ерекшеліктері анықталған, В<sub>2</sub>О<sub>3</sub>-Al жүйесіне негізделген шихтаның жану жылдамдығының флюстің мөлшеріне тәуелділігі анықталды. Алюминий боридтерінің құймасының түзілуіне, фазалардың толық бөлінуіне ықпал ететін қож балқымасының қажетті физика-химиялық қасиеттерін қамтамасыз ететін флюсті таңдау және оның оңтайлы мөлшерін анықтау жүргізілді. Тәжірибелер: кальций оксиді, плавикті шпат, калий хлоридтері, әртүрлі комбинациялардағы калий тетрафторбораты қолданылды. Қорытпаның шығымдылығын арттыру және ондағы бор құрамын арттыру үшін калий тетрафторборатын плавикті шпатпен араластырылған флюстік қоспа ретінде пайдаланудың тиімділігі талданған.

**Негізгі сөздер:** алюминий, бор ангидридi, флюстер, борид, ӨЖС, қож, фазалық бөліну.

## Влияние флюсующих добавок на алюминотермический синтез боридов алюминия

И. Аллан<sup>1,2</sup>, С. Акназаров<sup>1,2</sup>, О. Головченко<sup>1,2</sup>, О. Байракова<sup>2</sup>, Е. Пономарева<sup>2</sup>, А. Мутушев<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>ТОО «Жалын», Алматы, Казахстан

\*Автор для корреспонденции: [alibek\\_090@mail.ru](mailto:alibek_090@mail.ru)

**Аннотация.** В статье исследованы влияния флюсующих добавок на кинетику процесса и выход сплава. Доказано, что использование фторидных солей, в частности CaF<sub>2</sub>, в количестве от 15.0 до 18.0% способствует увеличению скорости горения шихты, образованию подвижных жидкотекучих шлаков, улучшающих фазоразделение; при 6.7-8.0% происходит максимальный выход сплава. Определены особенности использования флюсующих добавок в алюминотермических процессах, зависимости скорости горения шихты на основе системы В<sub>2</sub>О<sub>3</sub>-Al от количества флюса. Про-

веден выбор флюса и определение его оптимального количества, обеспечивающего необходимые физико-химические свойства расплава шлака, способствующего формированию слитка боридов алюминия, более полному фазоразделению. Были проведены эксперименты с использованием: оксида кальция, плавикового шпата, хлоридов калия, тетрафторбората калия в различных сочетаниях. Проанализирована эффективность использования в качестве флюсующей добавки тетрафторбората калия в смеси с плавиковым шпатом для повышения выхода сплава и увеличения в нем содержания бора.

**Ключевые слова:** *алюминий, борный ангидрид, флюсы, борид, СВС, шлак, фазоразделение.*