

FTAMP 67.09.91

Ж.Е. Калиева¹ – негізгі автор, ©
Е.Р. Орынбай², Д.Е. Мәжит³, А.К. Қожас⁴, Е. Ерланұлы⁵



¹Техн. ғылым. канд., доцент, ^{2,5}Магистрант, ³Техн. ғылым. магистрі,
докторант, ⁴Техн. ғылым. канд., аға оқытушы

ORCID

¹<https://orcid.org/0000-0001-9033-2065> ²<https://orcid.org/0009-0007-9405-4673>
³<https://orcid.org/0000-0003-4401-5215> ⁴<https://orcid.org/0000-0002-5039-9529>
⁵<https://orcid.org/0009-0007-4685-4596>



^{1,2,3,4,5}Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті,



Астана, Қазақстан



³danara.08.1998@mail.ru

<https://doi.org/10.55956/ZCOX8420>

КЕРАМИКАЛЫҚ КІРПІШ ҚАСИЕТТЕРІНІҢ ҚАЛЫПТАСУЫНА АЛЮМИНИЙ ҚАЛДЫҚТАРЫНЫҢ ӘСЕРІ

Аңдатпа. Бұл жұмыс алюминий қалдықтарының керамикалық кірпіштердің қасиеттеріне әсерін, олардың материалдардың физикалық-механикалық сипаттамаларын жақсартуға арналған қоспалар ретіндегі мүмкіндіктерін зерттеуге арналған. Зерттеудің мақсаты – алынған үлгілердің беріктік сипаттамалары мен микроқұрылымындағы өзгерістерді бағалау. Осы мақсатта сығымдауға төзімділік сынақтары, сондай-ақ сканерлеуші электрондық микроскопия (SEM) көмегімен микроқұрылымдық талдау жүргізілді. Спектрлік талдауды қолдану арқылы кірпіштің беткі қабатында және құрылымында химиялық элементтердің таралуы анықталды. Суыққа төзімділік сынақтары жүргізілді. Нәтижелер алюминий қалдықтарын енгізу кірпіштің беріктігіне, тығыздығына және кеуектілігіне әсер ететінін көрсетті. Алынған мәліметтер керамикалық құрылыс материалдары өндірісінің экологиялық тазалығы мен экономикалық тиімділігін арттыру мақсатында дәстүрлі шикізатты алюминий қалдықтарымен ішінара ауыстыру мүмкіндігін растайды.

Тірек сөздер: алюминий қалдықтары, керамикалық кірпіш, спектрлік талдау, энергетикалық дисперсиялық рентгендік талдау (EDS), физикалық және механикалық қасиеттер.



Калиева, Ж.Е. Керамикалық кірпіш қасиеттерінің қалыптасуына алюминий қалдықтарының әсері [Мәтін] / Ж.Е. Калиева, Е.Р. Орынбай, Д.Е. Мәжит, А.К. Қожас, Е. Ерланұлы // Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – 2025. – №4(90). – Б.160-170. <https://doi.org/10.55956/ZCOX8420>

Кіріспе. Құрылыс материалдарын өндіру табиғи ресурстарды айтарлықтай тұтынуды қамтиды. Құрылыс индустриясында қайта өңделген материалдарды пайдалануға мүмкіндік беретін экологиялық тұрақты және үнемді технологияларды дамытуға ерекше көңіл бөлінеді. Осындай бағыттардың бірі – құрылыс материалдарына өндіріс қалдықтарын енгізу.

Керамикалық кірпіш өндірісінде перспективті бағыт алюминий өндірісінің қалдықтарын пайдалану болып табылады. Бұл, ең алдымен, керамиканың беріктік сипаттамалары Al_2O_3 (алюминий оксиді) мөлшеріне айтарлықтай тәуелді болуымен, сұйық фазаның түзілуіне және қатты фазалық

реакциялардың үдеуіне ықпал ететін алюминий құрамындағы сілтілі қосылыстардың болуымен, сондай-ақ жанғыш компонент – көміртектің болуымен түсіндіріледі. Осылайша, зерттеулердің негізінде, күйдіру кезінде керамикалық массалардағы алюминий өндірісінің қалдықтары күйдіру кезіндегі шөгін төмендететіні, сұйық фазаның пайда болуына, кристалдық фазалардың пайда болуына ықпал ететіні, сол арқылы өнімдерді қажетті физикалық және механикалық қасиеттермен қамтамасыз ететіні анықталды. Газды тазарту кезіндегі алюминий шламы әр түрлі композиттік керамикалық құрылыс материалдарын, соның ішінде қаптау плиткаларын өндіруде қолдануға болады. Оның керамикалық бұйымдарды өндіру үшін сазға қосылатын оңтайлы мөлшері 10-15% құрайды [1].

Авторлардың жұмысында [2] алюминий өндірісінің қалдықтарын керамика өнеркәсібінде пайдалану мүмкіндігін зерттеді. Бұл қалдықтар минералдандыратын компоненттің термореологиялық қасиеттеріне сәйкес керамикалық материалдардың беріктігін 40-250% және аязға төзімділігін 50-150 циклге арттыратыны анықталды.

Ендігі жұмыс [3] құрамында тұтқырлығы төмен құрамдастырылған минерализаторы бар 5-15% мөлшерінде алюминий өндірісінің шламын керамикалық кірпіш өндірісінде сазға қосу үлгілердің беріктігінің айтарлықтай артуына және суды сіңірудің төмендеуіне әкеледі.

1000-1050°C температурада керамикалық матрицаның агломерациясы күшейеді және құрылымы мен фазалық құрамы қалыптасады, керамикалық сынық түсінің тұрақтануына қол жеткізіледі. Өндірістің ресурстық және энергия сыйымдылығын төмендету үшін шихтаға балқымалы саз шикізаты мен өнеркәсіптік қосалқы өнімдерді енгізуге болады [4]. Осындай жанама өнімдердің бірі алюминий шлактары болып табылады. Авторлардың жұмысында [5] керамикалық массаға 10% алюминий қалдықтарын енгізген кезде керамика сынығын агломерациялау және фазалық түзілу процестері күшейеді, бұл шыны фазасының мөлшерінің ұлғаюынан және мулиттің кристалдануынан жүзеге асады.

Зерттеулер көрсеткендей, құрамында Al_2O_3 мөлшері 25%-дан асатын алюминийі бар қалдықтарды қышқылға төзімді, қабырғалық, клинкерлік керамикалық материалдар мен жоғары физикалық, механикалық және химиялық қасиеттері бар кеуекті толтырғыштар өндірісінде қолданылуға болады [6].

Келесі жұмыста [7] алюминий шөгінділерін пайдаланудағы қиындықтарды шешу үшін негізгі шикізат ретінде азот концентрациясы жоғары алюминий шөгінділері бар күйдірілмеген кірпіштер дайындалды. Үш технологиялық параметр, соның ішінде қалыптау қысымы, араластыру суының мөлшері және алюминий қожының бөлшектерінің өлшемі бір факторлы эксперименттерге ұшырады. Зерттеу нәтижесінде кірпіштің сығымдалу беріктігі стандарттық көрсеткішпен сәйкес келді.

Ендігі зерттеудің [8] мақсаты – алюминий шлактарын керамикалық плитка өндірісіне арналған шикізат ретінде қайта өңдеу. Шлак қабырға плиткаларына 1, 3, 5, 7, 10 және 15 салмақтық пайыз мөлшерінде қосылды. Қабырға плиткаларында шлактарды қолдану шикізат пен күйдірілген күйдегі беріктік мәндерін екі есе арттырады, сондықтан алюминий шлагы жұқа қабырға плиткаларындағы беріктікті арттыратын қоспалардың орнына оңай пайдаланылуы мүмкін. Үлгінің беріктігінің артуы SEM кескіндері арқылы есептелген кеуектілік көрсеткіштерімен де дәлелденді.

Бұл зерттеуде [9] алюминий қалдығы қабырға плиткаларына арналған жылтырсыз (ангобсыз) керамика жасау үшін негізгі компонент ретінде пайдаланылды. Бұл қосалқы өнімді қолдану полигонға тасталатын қалдықтарды және қоршаған ортаға келетін зиянды азайтуға мүмкіндік береді. Күйдіру процесі 1140-1200°C температурада, 4 сағат бойы жүргізілді, нәтижесінде мықты керамикалық үлгілер алынды.

Плазмалық өңдеу арқылы алюминий металлін қайта алу кезінде алынған алюминий қалдығы [10] (dross) отқа төзімді материалдарда бастапқы шикізатты алмастырушы ретінде сыналды. Бұл қалдықтың негізгі фазалары – $MgAl_2O_4$ (магний алюминаты) және AlN (алюминий нитриді) болды. Физикалық және механикалық сынақтардың нәтижелері бұл қалдықты алдын ала кальцинациясыз-ақ отқа төзімді материалдардағы ұсақ құрылымдық компоненттерді алмастыру үшін тікелей қолдануға болатынын көрсетті.

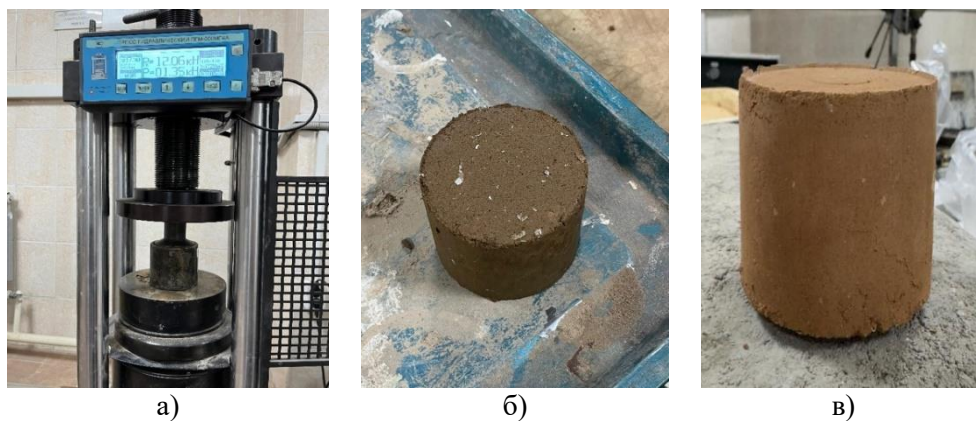
Зерттеу шарттары мен әдістері. Зерттеу үшін желдетілетін қасбетке арналған алюминий қосалқы жүйесінің өндірістік процестерінен кейін қалған алюминий қалдықтары және Ақмола облысында орналасқан Софиевка кен орнының саз балшықтары пайдаланылды.

BRUKER QUANTAX EDS рентгендік спектрометрі [11] көмегімен алюминий қалдығының және саздың элементтер бойынша химиялық талдауы жүргізілді.

Энергетикалық дисперсиялық спектроскопия (EDS) арқылы химиялық элементтердің материалда қалай таралғанын анықталды.

Керамикалық масса 20-22% ылғалдылықта және 15% қалдық қосу арқылы дайындалып, цилиндрлік үлгілер қалыптастырылды. Бұл [1] авторлардың жұмысындағы оңтайлы мөлшермен бірдей. Олар 1-2 МПа қысымда PGM-500 MG4A гидравликалық пресі арқылы тығыздалды [12]. Кейін олар қалдық ылғалдылығы 5% дейін 36 сағат бойы 100°C температурада кептіріліп, содан кейін 1050-1100°C муфельді пеште күйдірілді. 1-суретте үлгілерді дайындау процесі көрсетілген.

Ал авторлар [6] араластыру суының мөлшері 15% және алюминий шөгінділерінің өлшем диапазоны 80-130 микр алып, кірпіштің сығымдалу беріктігі 24,66 МПа құраған.



Сурет 1. Үлгілерді дайындау: а) PGM-500 MG4A престе үлгілерді қалыптастыру б) кептіруге дейінгі үлгі в) күйдіруден кейінгі үлгі

Күйдірілген үлгілердің қысуға беріктік шегі пресс «Controls» арқылы анықталды [13].

Материалдың аязға төзімділігі мен ыстыққа төзімділігі бойынша сынақтар CM-20/30-30 MAC-K климаттық камерасында жүргізілді [14].

Керамикалық материалдың микроқұрылымдық сипаттамаларын зерттеу үшін сканерлеуші электрондық микроскоп (SEM) талдауы жасалды. Ол үшін TM4000Plus (Hitachi) микроскобы пайдаланылып, 4 түрлі ұлғайтуда жасалды. SEM талдауы материал бетінің морфологиясы мен құрылымын анықтауға көмектесіп, беріктікке және қосымша әсерлерге төзімділікке әсер ететін жарықтар мен басқа да кемшіліктердің болуын анықтады.

Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау. Алюминий қалдығының спектрлік анализі арқылы алынған деректер бойынша Al, O элементтерінің пайыздық өлшемі басымырақ. Бұл материалға жоғары беріктік, отқа төзімділік, химиялық төзімділік беретін элементтер. Са агломерация температурасын төмендетеді, массаның пішінделу мен пластикалық қасиетін жақсартады. Ba материалдың тығыздығын, химиялық төзімділікті арттырып, термиялық кеңеюді азайтады (1-кесте).

Кесте 1

Алюминий қалдығының химиялық құрамы

O	Al	Ca	Ba
47,07	52,93	3,67	1,08

Керамикалық материалдардың физикалық-механикалық қасиеттерін қалыптастыруда сазды шикізаттың химиялық құрамы негізгі рөл атқарады. 2-кестеде зерттелетін саздың химиялық талдауының нәтижелері көрсетілген.

Кесте 2

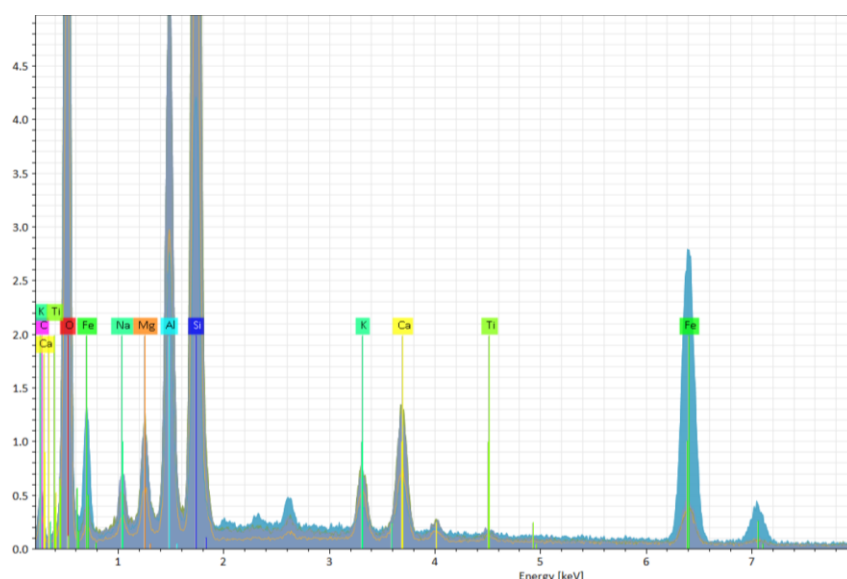
Саздың химиялық құрамы

O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Ti	Fe
45,79	1,61	2,18	10,83	26,02	2,15	4,83	0,67	5,92

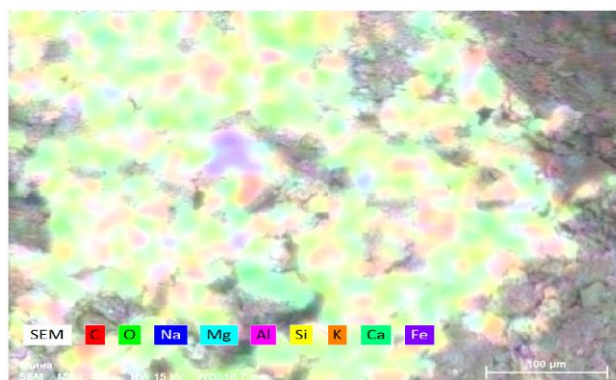
Құрамындағы негізгі элемент – оттегі (O, 45,79%), өйткені барлық элементтер оксидтер түрінде ұсынылған. Құрамындағы ең маңыздылары – кремний оксиді SiO_2 (26,02%) және алюминий Al_2O_3 (10,83%). Бұл компоненттер сазды минералдардың берік қаңқасын құрайды және керамиканың термиялық және химиялық тұрақтылығын қамтамасыз етеді. Темір Fe (5,92%) сазға өзінің тән түсін (қызылдан қоңырға дейін) береді, ал тотыққан күйінде (Fe_2O_3) материалдың беріктігін арттыруға ықпал ете отырып, агломерация процесіне қатысады. Кальций агломерацияны жақсартады және күйдіруді тездетсе, Магний және титан сәйкесінше өнімнің ыстыққа төзімділігін жақсартуға көмектеседі. Калий және натрий балқу температурасын төмендетеді және шыны фазасының түзілуіне ықпал етеді, осылайша күйдіру кезінде тығыздық пен беріктікті арттырады.

Саздың элементтік құрамы 2-суретте график түрінде көрсетілген.

3-суретте элементтердің таралу картасы элементтердің сазда қалай таралғанын көрсетті, әр түс әртүрлі элементті білдіреді. Ең басым түстер сары және жасыл, сәйкесінше Si және O мөлшері көбірек.



Сурет 2. Саздың EDS спектрі



Сурет 3. Энергетикалық дисперсиялық спектроскопия арқылы саздың элементтерінің таралуы (C, O, Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Fe).

Кесте 3

Алюминий қалдықтарын пайдаланып жасалған керамикалық кірпіш
үлгілерінің физика-механикалық қасиеттері

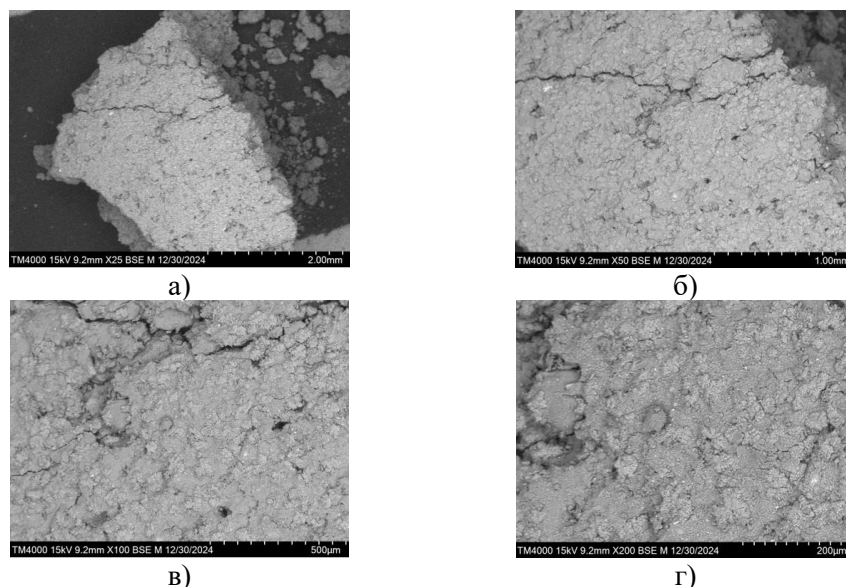
Керамикалық кірпіш	Аязға төзімділік	Қысуға беріктік шегі	Ыстыққа төзімділік
	14	9	2

Аязға төзімділік саны қирау белгілері (жарықтар) пайда болғанға дейін кірпіштің қанша қату-еріту цикліне төтеп бере алатынын көрсетеді. 14 циклі бұл керамикалық кірпіштің F14 маркасына сәйкес келеді. Бұл ғимараттар ішінде немесе қатты аяз болмаған аймақтарда қолданылатын кірпіштерге тән көрсеткіш. Кірпіштің қысуға беріктік шегі шамамен М90 маркасына сәйкес келеді, бұл жүк көтергіш және қоршау конструкциялары үшін өте қолайлы. Алайда [1,2,5] авторларының жұмыстарымен салыстырсақ беріктігі кіші, 18-26 МПа құрайды. Ыстыққа төзімділік көрсеткіші материалдың жоғары температураға қаншалықты төзімді екенін көрсетеді. Ыстыққа төзімділігі – 2

бұл кірпішті ішкі қабырғаларға, 200-250°C қыздыру температурасына төтеп бере алатын жерлерге қолдануға болады.

Авторлардың жұмысында жоғары температурада агломерациялау және каолинді (30%) қосқанда: шөгу көлемі 18%, кеуектілік 47,26%, көлемдік тығыздық 1,965 г/см³, сығуға беріктігі 31,9 МПа болды [15].

Әртүрлі үлкейтудегі 4-суреттегі кірпіштің микросуреті материалдың құрылымын зерттеуге мүмкіндік береді.



Сурет 4. TM4000Plus микроскопының (Hitachi) көмегімен кірпіш бетінің микросуреттері: а) 25× үлкейтілген; б) 50× үлкейтілген; в) 100× үлкейтілген; д) 200× үлкейтілген

25× үлкейту кезінде бөлшектердің өлшемі 150-500 мкм дейін, үлкен кеуектері бар, бөлшектердің ірі агрегаттары және олардың арасында әлсіз агломерация байқалады. 50× үлкейтуде бөлшектер 80-ден 250 мкм-ге дейін, гетерогенді түйіршікті құрылым, кейбір жерлерде фазаның тығыздалуы көрінеді, бірақ көптеген бос жерлер мен әлсіз байланыстар бар. 100× үлкейту бөлшектердің өлшемі 40-тан 120 мкм-ге дейін, құрылым тығызырақ, ұсақ түйіршіктер мен микрокеуектер анық көрінеді. 200× үлкейту кезінде бөлшектер 20-дан 80 мкм-ге дейін дәндердің беті кедір-бұдыр, шыны фазасы жоқ, бұл әлсіз агломерацияны көрсетеді.

Кесте 4

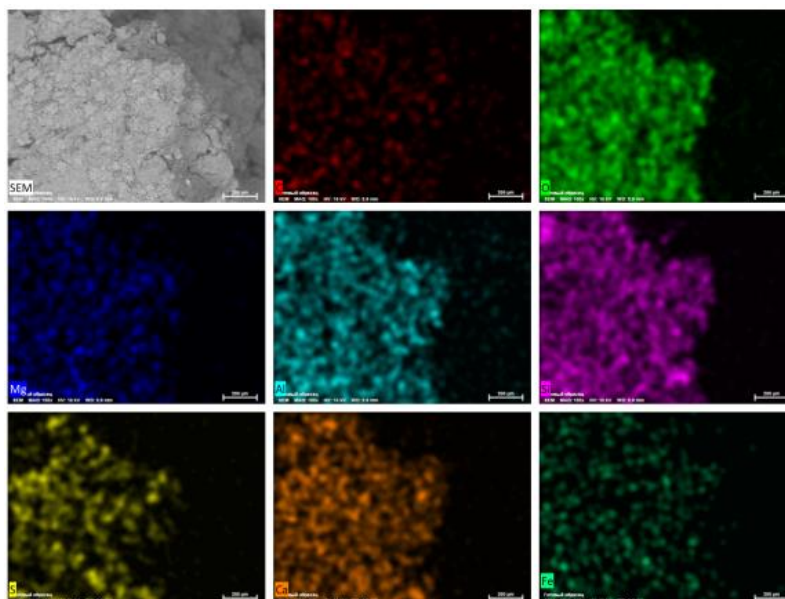
Алюминий шлак негізіндегі кірпіштің элементтік құрамы

O	Si	Ca	Al	Fe	Mg	S	K	Na
41,52%	21,15%	9,94%	8,09%	5,77%	2,23%	1,54%	1,33%	1,43%

4-кестеде алюминий шлактары қосылған кірпіштің химиялық құрамы көрсетілген. Оттегінің жоғары болуы 41,52% әртүрлі оксидті қосылыстардың (SiO₂, Al₂O₃, CaO және т.б.) болуына байланысты. Бұл материалдың оксидтік табиғатын және оның термиялық тұрақтылығын растайды. Оксидтер күйдіру кезінде күшті керамикалық матрицаның пайда болуын қамтамасыз етеді. Кремний диоксиді (SiO₂) түріндегі кремний негізгі құрылым түзуші

компонент рөлін атқарады. Ол шыны тәрізді фазаны құрайды, ыстыққа төзімділікті жақсартады, суды сіңіруді азайтады және керамикалық денені нығайтуға көмектеседі. Кальций тығыз құрылымның қалыптасуына ықпал етеді және күйдіру кезінде фазалық өзгерістерді жылдамдатады. Алюминий мен магний ыстыққа төзімділікті қамтамасыз етеді. Олардың мөлшерінің аз болуы ыстыққа төзімділіктің сәйкесінше аз мәніне сәйкестігін байқаймыз. Қалған элементтер белсенді ағындар ретінде әрекет етеді.

5-суреттегі элементтердің таралу картасы зерттелетін үлгідегі негізгі компоненттердің концентрациясын көрсетеді. EDS талдау әдісі оттегі (O), көміртегі (C), магний (Mg), алюминий (Al), кремний (Si), күкірт (S), кальций (Ca) және темір (Fe) сияқты элементтердің таралуын визуализациялау үшін пайдаланылды.



Сурет 5. Кірпіш композициядағы элементтердің таралу карталары (C, O, Si, Al, Ca, Fe, Mg, S).

Спектрлік талдау материал бетінде барлығы 6 нүкте алынып жасалды. Әрбір нүкте химиялық құрамды бағалау үшін, спектрлік талдау жүргізілген материалдың белгілі бір аймағын көрсетеді. Химиялық құрамның элементтер бойынша салыстырмалы талдауы 5-кестеде келтірілген.

Кесте 5

Химиялық құрамның салыстырмалы талдауы элементтер бойынша

Элемент	1 нүкте (%)	2 нүкте (%)	3 нүкте (%)	4 нүкте (%)	5 нүкте (%)	6 нүкте (%)
Si	21,15	13,04	12,18	15,11	19,45	11,65
Ca	9,94	10,80	10,80	11,36	10,50	16,68
Al	8,09	8,04	8,93	5,93	4,37	3,99
Fe	5,77	5,55	5,04	4,58	3,99	3,94
S	1,54	3,89	3,73	3,03	3,44	8,20
Mg	2,23	1,06	1,01	1,78	1,22	1,11
K	1,83	1,39	1,25	1,64	1,09	1,12
Na	1,33	-	-	0,64	-	-

Si мазмұны 11,65%-дан 21,15%-ға дейін өзгереді. Ең жоғары мән 1 және 5 нүктелерде байқалады, бұл шыны фазаны құрайтын керамиканың негізгі құрылым құраушы құрамдас бөлігі кремний диоксидінің жоғары құрамын көрсетеді. Са мөлшері 9,94%-дан 16,68%-ға дейін ауытқиды. 6 нүктеде ерекше жоғары мән байқалады, ол кальций фазаларының жергілікті жинақталуын көрсетуі мүмкін. Бұл элемент агломерация температурасын төмендететін және тығыз күйдіруге ықпал ететін ағын ретінде әрекет етеді. Al 3,99%-дан 8,93%-ға дейін ауытқиды, ең жоғары концентрациясы 3-ші нүктеде. Алюминий ыстыққа төзімділік пен беріктікті қамтамасыз ететін мулит фазасының түзілуіне қатысады. Fe сынама бойынша біркелкі таралады, 3,94%-дан 5,77%-ға дейін, материалға қызғылт реңк береді. S айтарлықтай ауытқуы байқалады: 1,54%-дан 8,20%-ға дейін. Магний, калий, натрий 1-2% шамасында ауытқиды, олардың біркелкі таралуы тұрақты күйдіру процесі үшін маңызды.

Қорытынды. Зерттеу құрылыс керамикасын өндіруде белсенді қоспа ретінде алюминий өндірісінің қалдықтарын пайдаланудың орындылығын растады. Саз массасына 15% алюминий қалдығын қосу SEM және EDS талдауымен расталған кеуектілігі төмендеген және бөлшектердің біркелкі таралуымен тығыз керамикалық матрицаның пайда болуына әкелді. Алюминий қалдығының химиялық құрамындағы басым элементтер Al, O; саз құрамында O, Si, Al екені анықталды. TM4000Plus сканерлеуші электрондық микроскоптың (Hitachi) көмегімен алынған кескіндер құрылымның тығыздалуын және минералды бөлшектердің біркелкі таралуын анық көрсетеді. 25× және 50× үлкейту кезінде үлкен агломераттар және жақсы анықталған түйіршік шекаралары байқалады, бұл күйдіру кезінде компоненттердің белсенді әрекеттесуін көрсетеді. 100× және 200× үлкейту кезінде мөлшері 20-дан 100 мкм-ге дейін болатын, негізінен дөңгелек бөлшектері бар түйіршікті бет анық көрінеді. Алюминий қалдықтарының бөлшектері агломерацияны жақсартуға және азырақ кеуектері бар тығыз керамикалық матрицаның пайда болуына ықпал етті.

Алюминий қалдығы қосылған керамикалық материалдың қысуға беріктік шегі – 9, аязға төзімділігі – 14, ыстыққа төзімділік қасиеті – 2 ие болды.

Қорытындылай келе келесі практикалық ұсыныстар келтірілген:

- жеткілікті беріктігі мен климаттық әсерлерге төзімділігі бар құрылыс керамикасын өндіру үшін алюминий қалдықтарын шикізат салмағының 10-15% мөлшерінде пайдалану;

- алынған материалды ішкі қалқаларға, жүк көтермейтін қабырғаларға және қыстың қалыпты температурасы бар аймақтардағы құрылымдарға арналған кірпіш өндірісінде пайдалану;

- алюминий қалдықтарының бөлшектерінің агломерациясын жақсарту және өнімнің жалпы тығыздығын арттыру үшін қосымша төмен балқитын флюстерді немесе модификаторларды (мысалы, құрамында кальций бар компоненттер) зерттеу және енгізу ұсынылады;

- өнімдерде жарықтар мен деформациялардың пайда болуын болдырмау үшін кептіру 100°C температурада 5% ылғалдылыққа дейін біртіндеп жүргізілуі керек, бұл ішкі кернеуді азайтады;

- бұл технологияны пайдалану өнеркәсіптік қалдықтарды азайтуға, өндіріс шығындарын азайтуға және қоршаған ортаға әсерді азайтуға

көмектеседі, бұл әсіресе металл өңдеу өнеркәсібі дамыған аймақтар үшін маңызды;

– алюминий қалдықтарының бөлшектерінің агломерациясын жақсарту және өнімнің жалпы тығыздығын арттыру үшін қосымша төмен балқитын флюстерді немесе модификаторларды (мысалы, құрамында кальций бар компоненттер) зерттеу және енгізу;

– өнеркәсіптік қолдануда пайдалану кезінде өнім сапасының тұрақтылығын растау үшін беріктік, су сіңіру және ыстыққа төзімділік көрсеткіштерін тұрақты бақылау жүйесін ұйымдастыру ұсынылады.

Әдебиеттер тізімі

1. Бурученко, А.Е. Сазды және алюминий өндірісінің қалдықтарын пайдаланатын құрылыс керамикасы [Мәтін] / А.Е. Бурученко, С.И. Мушарапова // Құрылыс материалдары. – 2010. – Б. 28-30.
2. Еромасов, Р.Г. Пути утилизации отходов газоочистки алюминиевого производства в технологии керамического кирпича [Текст] / Р.Г. Еромасов, Э.М. Никифорова, Т.В. Ступко, М.Н. Васильева, Н.С. Симонова, С.А. Куликов, Б.О. Аполлонов // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1.
3. Довженко, И.Г. Эффективность применения сталеплавильных шлаков в грубозернистых массах для производства керамического кирпича [Текст] / И.Г. Довженко // Фундаментальные исследования. – 2011. – № 4. – С. 78-82.
4. Довженко, И.Г. Интенсификация спекания керамического кирпича с применением побочного продукта алюминиевого производства [Текст] / И.Г. Довженко // Фундаментальные исследования. – 2011. – № 12-2. – С. 341-344.
5. Skachkova M.E., Erokhin A.S., Mitrofanov M.S. Use of aluminum-containing waste in production of ceramic materials for various purposes // Refractories and Industrial Ceramics. – 2013. – Vol. 54. – No. 4. – P. 275-278.
6. Ni H., Wu W., Lu C., Wang X., Zhu Y., Lv S. Preparation of aluminum dross non-fired bricks with high nitrogen concentration and optimization of process parameters // Applied Sciences. – 2022. – Vol. 12. – No. 12. – P 6133.
7. Tamsu Selli N., Basaran N. Valorization of aluminium slags to produce sustainable ceramic wall tiles // Journal of the Australian Ceramic Society. – 2023. – Vol. 59. – P. 1249-1261.
8. Sooksaen P., Puathawee P. Properties of unglazed ceramics containing aluminum dross as a major component // Solid State Phenomena. – 2017. – Vol. 266. – P. 182-186.
9. Yoshimura, H.N. Evaluation of aluminum dross waste as raw material for refractories / H.N. Yoshimura, A.P. Abreu, A.L. Molisani, A.C. de Camargo, J.C.S. Portela, N.E. Narita // Ceramics International. – 2008. – Vol. 34. – Issue 3. – P. 581-591.
10. ASTM E1508-12. Standard guide for quantitative analysis by energy-dispersive spectroscopy. – ASTM International, 2012.
11. 49130–12. Описание типа СИ. Прессы гидравлические малогабаритные ПГМ-МГ4 [Текст].
12. ГОСТ 10180-2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам [Текст]. – Введ. 01-07-2013. – Москва: Стандартинформ, 2013. – 29 с.
13. ГОСТ 57606-2017. Композиты керамические. Метод испытания на сжатие при нормальной температуре. [Текст]. – Введ. 01-02-2018. – Москва: Стандартинформ, 2017. – 27 с.
14. Климатическая камера СМ-20/30–30 МАС-К. Описание оборудования для проведения испытаний морозостойкости кирпича по ГОСТ 530–2012 и ГОСТ 7025-91 [Текст].

15. Liang Y., Yuan L., Xiuling C., Yulong Y., Chen Zh., Yanli J. Research of microstructure, phase, and mechanical properties of aluminum-dross-based porous ceramics // Renewable Materials. – 2023. – Vol. 11. – Issue 7. – P. 3057-3072.

Материал редакцияға 18.04.25 түсті, 23.10.25 қабылданды.

Ж.Е. Калиева¹, Е.Р. Орынбай¹, Д.Е. Мажит¹, А.К. Кожас¹, Е. Ерланұлы¹

¹*Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан*

ВЛИЯНИЕ АЛЮМИНИЕВЫХ ОТХОДОВ В ФОРМИРОВАНИИ СВОЙСТВ КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА

Аннотация. Данная работа посвящена изучению влияния алюминиевых отходов на свойства керамического кирпича, их потенциала в качестве добавок для улучшения физико-механических характеристик материалов. Цель исследования – оценить изменения прочностных характеристик и микроструктуры полученных образцов. С этой целью были проведены испытания на прочность на сжатие, а также микроструктурный анализ с использованием сканирующей электронной микроскопии (СЭМ). Распределение химических элементов в поверхностном слое и структуре кирпича определяли с помощью спектрального анализа. Были проведены испытания на холодостойкость. Результаты показали, что включение алюминиевых отходов влияет на прочность, плотность и пористость кирпича. Полученные данные подтверждают возможность частичной замены традиционного сырья алюминиевыми отходами с целью повышения экологической чистоты и экономической эффективности производства керамических строительных материалов.

Ключевые слова: алюминиевые отходы, керамический кирпич, спектральный анализ, энергодисперсионный рентгеновский анализ (ЭДС), физико-механические свойства.

Zh.E. Kaliyeva¹, E.R. Orynbay¹, D.E. Mazhit¹, A.K. Kozhas¹, E. Erlanuly¹

¹*L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan*

INFLUENCE OF ALUMINUM WASTES ON THE PROPERTIES OF CERAMIC BRICKS

Abstract. This study is devoted to investigating the influence of aluminum wastes on the properties of ceramic bricks and their potential as additives for improving the physicomachanical characteristics of the materials. The aim of the research is to evaluate changes in the strength characteristics and microstructure of the obtained samples. For this purpose, compressive strength tests and microstructural analysis using scanning electron microscopy (SEM) were conducted. The distribution of chemical elements in the surface layer and brick structure was determined by spectral analysis. Frost resistance tests were also carried out. The results showed that the inclusion of aluminum wastes affects the strength, density, and porosity of the bricks. The obtained data confirm the possibility of partial replacement of traditional raw materials with aluminum wastes to enhance environmental sustainability and economic efficiency in the production of ceramic building materials.

Keywords: aluminum waste, ceramic bricks, spectral analysis, energy dispersive X-ray analysis (EDS), physical and mechanical properties.

References

1. Buruchenko, A.E., Musharapova, S.I. Sazdy zhane alyuminiy ondirisinin kaldyktaryn paydalanatyn qurylis keramikas [Construction ceramics using clay and aluminum industry wastes] // Construction Materials. – 2010. – P. 28-30. [in Kazakh].
2. Eromasov R.G., Nikiforova E.M., Stupko, T.V., Vasileva, M.N., Simonova, N.S., Kulikov, S.A., Apollonov B.O. Puti utilizatsii otkhodov gazoocistki alyuminiyevogo proizvodstva v tekhnologii keramicheskogo kirpicha [Ways of utilization of aluminum production gas cleaning wastes in ceramic brick technology] // Modern Problems of Science and Education. – 2015. – No. 1. [in Russian].
3. Dovzhenko I.G. Effektivnost primeneniya stalyeplavilnykh shlakov v grubozernistykh massakh dlya proizvodstva keramicheskogo kirpicha [Efficiency of using steelmaking slags in coarse-grained masses for ceramic brick production] // Fundamental Research. – 2011. – No. 4. – P. 78-82. [in Russian].
4. Dovzhenko, I.G. Intensifikatsiya spekaniya keramicheskogo kirpicha s primeneniem pobochnogo produkta alyuminiyevogo proizvodstva [Intensification of ceramic brick sintering using by-product of aluminum production] // Fundamental Research. – 2011. – No. 12-2. – P. 341-344. [in Russian].
5. Skachkova, M.E., Erokhin, A.S., Mitrofanov, M.S. Use of aluminum-containing waste in production of ceramic materials for various purposes // Refractories and Industrial Ceramics. – 2013. – Vol. 54. – No. 4. – P. 275-278.
6. Ni, H., Wu, W., Lu, C., Wang, X., Zhu, Y., Lv, S. Preparation of aluminum dross non-fired bricks with high nitrogen concentration and optimization of process parameters // Applied Sciences. – 2022. – Vol. 12. – No. 12. – P. 6133.
7. Tamsu Selli, N., Basaran, N. Valorization of aluminium slags to produce sustainable ceramic wall tiles // Journal of the Australian Ceramic Society. – 2023. – Vol. 59. – P. 1249-1261.
8. Sooksaen, P., Puathawee, P. Properties of unglazed ceramics containing aluminum dross as a major component // Solid State Phenomena. – 2017. – Vol. 266. – P. 182-186.
9. Yoshimura, H.N., Abreu, A.P., Molisani, A.L., de Camargo, A.C., Portela, J.C.S., Narita, N.E. Evaluation of aluminum dross waste as raw material for refractories / H.N. Yoshimura, A.P. Abreu, A.L. Molisani, A.C. de Camargo, J.C.S. Portela, N.E. Narita // Ceramics International. – 2008. – Vol. 34. – Issue 3. – P. 581-591.
10. ASTM E1508–12. Standard guide for quantitative analysis by energy-dispersive spectroscopy. – ASTM International, 2012.
11. 49130–12. Opisanie tipa SI. Pressy gidravlicheskie malogabaritnye PGM-MG4 [Description of measuring instrument type. Small-size hydraulic presses PGM-MG4]. [in Russian].
12. GOST 10180–2012. Betony. Metody opredeleniya prochnosti po kontrolnym obraztsam [Concrete. Methods for determining strength using control samples]. – Introduced 01-07-2013. – Moscow: Standartinform, 2013. – 29 p. [in Russian].
13. GOST 57606–2017. Kompozity keramicheskie. Metod ispytaniya na szhatie pri normalnoy temperature [Ceramic composites. Compression test method at normal temperature]. – Introduced 01-02-2018. – Moscow: Standartinform, 2017. – 27 p. [in Russian].
14. Klimaticheskaya kamera SM-20/30–30 MAS-K. Opisanie oborudovaniya dlya provedeniya ispytaniy morozostoykosti kirpicha po GOST 530–2012 i GOST 7025–91 [Climate chamber SM-20/30–30 MAS-K. Description of equipment for testing frost resistance of bricks according to GOST 530–2012 and GOST 7025–91]. [in Russian].
15. Liang, Y., Yuan, L., Xiuling, C., Yulong, Y., Chen, Zh., Yanli, J. Research of microstructure, phase, and mechanical properties of aluminum-dross-based porous ceramics // Renewable Materials. – 2023. – Vol. 11. – Issue 7. – P. 3057-3072.