

FTAMP 67.09.91

Ж.Е. Калиева¹ – негізгі автор, | ©
Е. Ерланұлы², Д.Е. Мәжит³, Е.Р. Орынбай⁴, А.К. Қожас⁵



¹Техн. ғылым. канд., доцент, ^{2,4}Магистрант, ³Докторант,

⁵Техн. ғылым. канд., аға оқытушы

ORCID

¹<https://orcid.org/0000-0001-9033-2065> ²<https://orcid.org/0009-0007-4685-4596>

³<https://orcid.org/0000-0003-4401-5215> ⁴<https://orcid.org/0009-0007-9405-4673>

⁵<https://orcid.org/0000-0002-5039-9529>



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



Астана қ., Қазақстан



⁵kozhas@bk.ru

<https://doi.org/10.55956/JOBB4020>

КЕРАМИКАЛЫҚ КІРПІШ ӨНДІРІСІНДЕ КУПЕРШЛАКТЫ ҚОЛДАНУ: ҚАСИЕТТЕРІ МЕН ҚҰРЫЛЫМЫН ТАЛДАУ

Аңдатпа. Бұл жұмыс купершлак қосып керамикалық кірпіш өндіру технологиясын жасауды, осы қоспаның материалдың қасиеттеріне әсерін зерттеуді және оны өнеркәсіпте пайдалану мүмкіндігін бағалауды қарастырады. Керамикалық кірпіштің құрамына мыс шлактарын қосу оның механикалық қасиеттеріне, соның ішінде беріктігін арттыруға оң әсер етеді. SEM анықтаған микроқұрылымдағы өзгерістер материалдың біріктіру қасиетінің жақсарғанын растайды. Химиялық талдау (ХҚК) нәтижесінде алынған құрамның тұрақтылығын көрсететін элементтердің біркелкі таралуын көрсетті. Мыс шлактарын пайдалану металлургиялық қалдықтарды қайта өңдеуге ғана емес, сонымен қатар керамикалық кірпіш өндіруге кететін шығынды азайтуға мүмкіндік береді. Бұл тұрақты дамудың заманауи талаптарына жауап беретін, экологиялық таза құрылыс материалдарын жасауға ықпал етеді. Негізгі қосылыстар кремний диоксиді, кальций оксиді, алюминий оксиді, сондай-ақ темір, магний, калий және сульфаттардың әртүрлі оксидтерімен ұсынылған.

Тірек сөздер: купершлак, керамикалық кірпіш, өнеркәсіп қалдықтары, Скандерлі электронды микроскопия, Энергетикалық дисперсиялық спектроскопия, физикалық және химиялық қасиеттері.



Калиева, Ж.Е. Керамикалық кірпіш өндірісінде купершлакты қолдану: қасиеттері мен құрылымын талдау [Мәтін] / Ж.Е. Калиева, Е. Ерланұлы, Д.Е. Мәжит, Е.Р. Орынбай, А.К. Қожас // Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – 2025. – №1(87). – Б.191-199. <https://doi.org/10.55956/JOBB4020>

Кіріспе. Металл өндірісінің қалдықтарын, соның ішінде мыс шлактарын қайта өңдеу күрделі экологиялық және экономикалық проблема тудырады. Бұл қалдықтар үлкен көлемде түзіледі және дұрыс жойылмаса, қоршаған ортаны ластауы мүмкін. Оларды құрылыс индустриясында қолдану әдістерін әзірлеу табиғатқа кері әсерді азайту жолындағы маңызды қадам болып табылады.

Құрылыс индустриясы дәстүрлі материалдарды неғұрлым тұрақты және тиімді материалдармен алмастыратын жасыл технологияларды белсенді

түрде іздеуде. Керамикалық кірпіш өндірісінде мыс шлактарын пайдалану табиғи ресурстарды тұтынуды азайтуға және қалдықтарды жою мәселесін шешуге мүмкіндік береді.

Соңғы жылдары құрылыс материалдарындағы өнеркәсіптік қалдықтарды қайта өңдеуге қатысты көптеген зерттеулер жүргізілді [1-3].

Түсті металлургия мен энергетикалық қалдықтарды пайдалану табиғи материалдарды үнемдеудің тиімді әдістерінің бірі болып табылады, сонымен қатар жанама өнімдерді қайта өңдеу және қоршаған ортаны қорғауға үлес қосу [4]. Авторлар дәстүрлі табиғи материалдарды пайдаланбай тек металлургия өнеркәсібінің қалдықтарын пайдалана отырып, жоғары физикалық және механикалық сипаттамалары бар керамикалық кірпіш өндіру әдісін жасай алды [5].

Авторлар [6] өз жұмыстарында мыс қожын пайдаланды, оның нәтижесі мыс балқыту өндірісінің қалдықтарын кетіргіш ретінде керамикалық массаның құрамына мыс қожын енгізу прототипке қарағанда жоғары сығымдауға төзімділікке әкелетінін көрсетті. Кірпіш өндірісінде техногендік шикізатты пайдалану қалдықтарды қайта өңдеуге және қоршаған ортаға техногендік жүктемені азайтуға көмектеседі.

Өз зерттеулерінде [7] авторлар бетон өндірісінде мыс шлактарын пайдаланды. Зерттеулер мыс балқыту қожын белсенді минералды қоспа ретінде пайдалану мыс балқыту қалдықтарын ұтымды жоюға мүмкіндік беретінін көрсетті. Алынған деректер мыс қожын бетонға ұсақ ұнтақталған белсенді минералды қоспа ретінде пайдалану перспективасын растайды.

Келесі жұмыс [8] Электросталь Тюмень металлургиялық зауытының қож түріндегі қалдықтарын пайдалану мүмкіндігін қарастырады. Қабырғалық керамика өндіру үшін шикізат қоспасына ұсақ ұнтақталған күйдегі қожды қосу ұсынылады. Ұсынылған тәжірибелік деректер қождың бір уақытта қалдық қоспа және балқытатын қоспа ретінде әсерін көрсетеді, бұл саздың пластикалық санын және оның агломерация температурасын төмендетуге мүмкіндік береді. Алынған нәтижелер керамикалық сынықтың беріктігінің 23,8%-ға артқанын көрсетеді. Керамикалық бұйымдардың термиялық сипаттамаларын жақсарту үшін шикізат қоспасына күйіп кететін қоспа – ағаш ұны қосымша енгізіледі. Металлургиялық шлакпен және жанғыш қоспасы бар керамикалық сынықтың беріктігі 950°C күйдіру температурасында жанғыш қоспасы бар үлгілердің беріктігінен 63,4% жоғары. Балшық қоспасының оңтайлы құрамы алынды: саз – 67%; қож – 20%; кварц құмы – 10%; ағаш ұны – 3%.

«ТМО Қазақстан» компаниясы қарқынды сілтілеу технологиясы бойынша құрамында мыс бар қалдықтарды өңдеу жобасын жүзеге асыруда. Бұл жоба бұрын тиімсіз деп саналатын төмен сұрыпты ресурстарды өңдеудің жаңа мүмкіндіктерін ашатын тау-кен қалдықтарын тиімді пайдалануға бағытталған. Технология 0,15% құрайтын қалдық қоймаларынан 75%-дан астам мысты алуға мүмкіндік береді, бұл тау-кен қалдықтарын сақтау және кәдеге жаратумен байланысты экологиялық тәуекелдерді азайтады [9].

Келесі жұмыста [10,11] орындалған сынақтар металл кендерін байыту «қалдықтарының» саз бөлігін қосымша сазды байланыстырғыштарды қолданбай-ақ, өнімділік қасиеттері жақсартылған керамикалық материалдарды өндіруде пайдаланудың орындылығын дәлелдейді.

Зерттеу шарттары мен әдістері. Шикізат материалдары. Жұмысқа Астана кен орнының жоғары пластикалық және қоспасы аз саз балшық

пайдаланылды. Негізгі қасиеттерге жоғары отқа төзімділік және өрт кезінде тығыз құрылымдарды қалыптастыру мүмкіндігі жатады.

Металлургиялық өндірістің қалдық өнімі болып табылатын купершлак мыс кенін өңдеу және мыс өндіру кезінде алынатын қосымша өнім. Бұл балқыту процесінде оның кенінен мыс алынғаннан кейін қалатын материал. Оның химиялық құрамына темір, кремний және алюминий оксидтері кіреді. Физикалық қасиеттерге жоғары қаттылық, жұқа дисперстік және құрылымдық тұрақтылық жатады.

Саз және мыс шлактары әртүрлі пропорцияда (жалпы массаның 0%, 10%, 20%) араласқан. Қоспа біртекті масса алынғанша суды қосу арқылы дайындалды (1-кесте).

Кесте 1

Купершлак қолданып керамикалық кірпішті дайындауға арналған пропорциялар

№	Құрамы (жалпы массаның 0%)	Саз	Қалдық (купершлак)	Су
1	шлак 0%	720 гр	-	150 гр
2	шлак 10%	648 гр	72 гр	150 гр
3	шлак 15%	612 гр	108 гр	150 гр
4	шлак 20%	600 гр	120 гр	150 гр

Үлгілер диаметрі 75 мм және биіктігі 75 мм болатын цилиндрлік қалыптар түрінде қалыпталды. Қалыптау гидравликалық прессте 5 кН қысымда жүргізілді. Зерттелген нәтижелер 1-суретте көрсетілген.



а)



б)

Сурет 1. Үлгілерді дайындау: а) қоспаның компоненттерін араластыру; б) үлгіні қалыптау

Кептіру 105°C температурада 24 сағат бойы жүргізілді. Күйдіру 1000-1200°C температурада 6 сағат бойы бірте-бірте салқындатумен жүргізілді.

Дайын үлгілер PGM-500MG4A гидравликалық пресстің көмегімен беріктік сынақтарынан өтті. Барлық сынақтар ГОСТ [12] бойынша жүргізілді. Қысу беріктігі бойынша ең жақсы нәтижені 4-ші құрам көрсетті (2-кесте).

Сканерлеуші электронды микроскоп (SEM). Бұл талдау электронды микроскоп TM4000Plus (Hitachi) көмегімен жүргізілді, ол фазалық таралу сипатын, материалдың кеуектілігін және микроқұрылымын көрсетті. Мыс шлактарын қосу материалдың механикалық қасиеттеріне оң әсер ететін үлкен кеуектері азырақ тығыз құрылымның пайда болуына ықпал ететіні анықталды.

Энергетикалық дисперсиялық спектроскопия (EDS). EDS талдауы мыс қожына тән негізгі элементтердің болуын растады, мысалы, Si, Fe, Ca және

А1. Бұл күйдіру кезінде мыс шлактарының химиялық реакцияларға белсенді қатысуын көрсетеді, бұл кірпіштің сипаттамаларын жақсартуға көмектеседі. Сонымен қатар, химиялық құрамның жергілікті өзгерістері мыс шлактарының керамикалық қоспаның басқа компоненттерімен әрекеттесуін көрсетеді, бұл фазалық құрамның қалыптасуына әсер етеді.

Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау. *Физикалық және механикалық қасиеттері.* Зерттеу нәтижелері керамикалық кірпіштің құрамына мыс шлактарын қосу оның физика-механикалық қасиеттеріне оң әсер ететінін көрсетеді. Купершлак мөлшерінің ұлғаюымен сығымдалу беріктігі 8,09 МПа (қожсыз құрам) 9,60 МПа (шлак мөлшері 20%) дейін артады. Бұл мыс шлактары кеуектерді толтыру және жоғары температурада күйдіру кезінде жаңа фазалардың пайда болуына байланысты материалдың неғұрлым тығыз құрылымын қалыптастыруға қатысады.

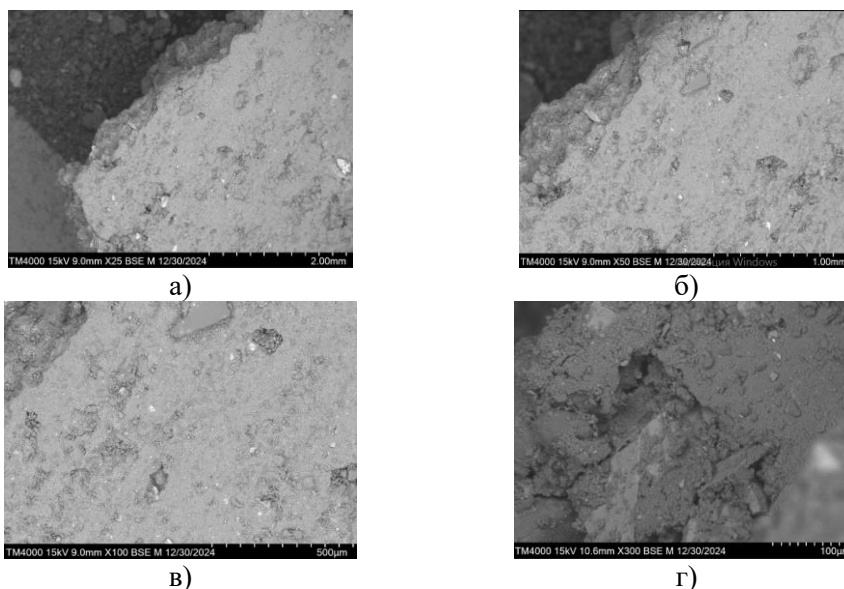
Сонымен қатар, кірпіштің маркасының М75-тен М100-ге дейін 10-20% мыс қожын қосу арқылы өзгеруі материал сапасының жоғарылауын көрсетеді, бұл оның құрылыста, соның ішінде көп жүктелген құрылымдарда пайдалану мүмкіндігін кеңейтеді (2-кесте).

Кесте 2

Қысуға беріктігін тексеру нәтижелері

№	Құрамы (жалпы массаның 0%)	Қысуға беріктігі	Кірпіш маркасы
1	шлак 0%	8,09 МПа	М75
2	шлак 10%	8,60 МПа	М100
3	шлак 15%	9,05 МПа	М100
4	шлак 20%	9,60 МПа	М100

Сканерлеуші электронды микроскоп (SEM), Энергетикалық дисперсиялық спектроскопия (EDS). Әртүрлі үлкейтудегі 1-суреттегі кірпіштің микросуреті материалдың құрылымын зерттеуге мүмкіндік береді.



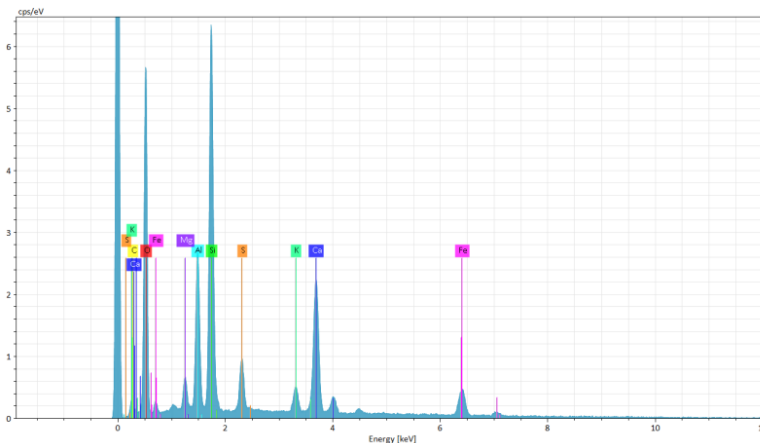
Сурет 2. TM4000Plus микроскопының (Hitachi) көмегімен кірпіш бетінің микросуреті: а) 25х үлкейтетін электронды микроскоп; б) 50х үлкейтетін; в) 100х үлкейтетін; д) 300х үлкейтетін

Кесте 3

Мыс шлак негізіндегі кірпіштің элементтік құрамы

O	Si	Ca	Al	Fe	S	K	Mg
44,33%	21,80%	12,12%	7,29%	5,20%	3,47%	1,86%	1,69%

Мыс шлактары негізіндегі кірпіштердің химиялық құрамы 3-кестеде көрсетілген. Оттегінің жоғары болуы күйдіру кезінде түзілетін оксидтермен байланысты. Кремний мен алюминий балшық матрицасының негізгі компоненттері болып табылады. Олардың осы материалда айтарлықтай болатын кальциймен реакциясы материалдың кеуектілігін төмендетеді. Темір мен магний сонымен қатар мыс шлактарынан келеді, олар темір оксидтері түрінде болуы мүмкін (FeO , Fe_2O_3). Темір оксидтері материалдың агломерациялық температурасын төмендететін флюс ретінде әрекет етеді. Дегенмен, темірдің шамадан тыс мөлшері шамадан тыс балқуға әкелуі мүмкін, бұл беріктік қасиеттерін нашарлатады, сондықтан оңтайлы мән (шамамен 5%) қолайлы болып саналады. Элементтердің құрамы 2-суретте график түрінде көрсетілген.



Сурет 3. Кірпіш композициядағы элементтердің EDS таралу спектрі

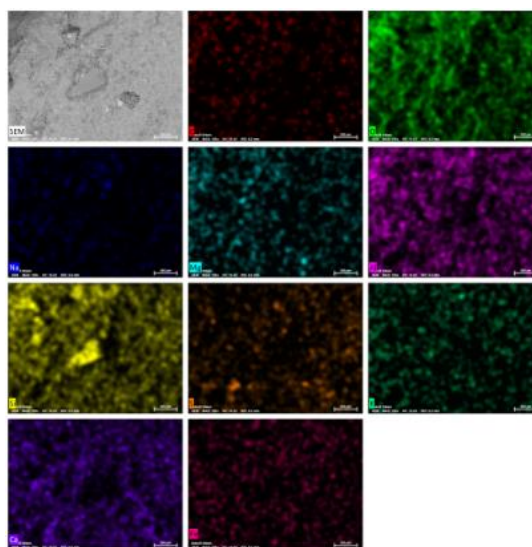
Кесте 4

Мыс шлактары негізіндегі кірпіштің оксидтік құрамы

SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	FeO	SO ₃	K ₂ O	MgO
46,64%	16,96%	13,77%	6,69%	8,65%	2,24%	2,8%

SiO₂ және CaO жоғары құрамы тығыз және берік кірпіш матрицасының негізін құрайды. FeO, K₂O және MgO оңтайлы мөлшерде кеуектілікті төмендетеді және материалдың тығыздалуын жақсартады, қысу беріктігін 9,60 МПа дейін арттыруға көмектеседі. Күкірттің қалыпты мөлшері ақаулардың пайда болу қаупін азайтады және кеуектердің біркелкі таралуына ықпал етеді.

3-суреттегі элементтердің таралу картасы элементтердің бетонда қалай бөлінетінін көрсетті, әр түс әртүрлі элементті білдіреді.



Сурет 4. Кірпіш композициядағы элементтердің таралу карталары (C, O, Na, Mg, Al, Si, S, K, Ca, Fe).

Материалдың әртүрлі нүктелерінде элементтік және оксидтік құрамды талдаулар жүргізілді. Салыстырмалы талдау 5 және 6 кестеде көрсетілген.

Кесте 5

Салыстырмалы талдау(элементтер)

Элемент	1 нүкте (%)	2 нүкте (%)	3 нүкте (%)	4 нүкте (%)	5 нүкте (%)	6 нүкте (%)
O	39,28	59,51	44,33	40,55	38,08	45,54
Si	17,19	50,09	21,80	20,46	19,55	25,48
Ca	13,07	1,34	12,12	9,86	10,58	10,18
Al	6,60	1,78	7,29	7,40	7,55	6,08
Fe	6,81	1,12	5,20	10,68	6,19	5,83
Mg	1,55	0,00	1,69	1,61	2,04	1,50
K	1,92	0,00	1,46	1,70	1,89	1,54
S	3,53	0,00	3,47	1,51	1,05	1,69

Кесте 6

Салыстырмалы талдау(оксидтер)

Қосылыстар	1 нүкте (%)	2 нүкте (%)	3 нүкте (%)	4 нүкте (%)	5 нүкте (%)	6 нүкте (%)
SiO ₂	36,77	107,17	46,64	43,77	41,83	54,51
CaO	18,29	1,87	16,97	13,79	14,81	14,25
Al ₂ O ₃	12,47	3,37	13,77	13,98	14,27	11,49
FeO	6,80	1,44	5,60	13,74	7,19	7,50
SO ₃	8,81	0,00	6,85	3,76	2,27	3,77
MgO	2,48	0,00	2,80	2,67	3,38	2,49
K ₂ O	2,31	0,00	2,40	2,05	2,28	1,86

Қорытынды. Керамикалық кірпіштің құрамына мыс қожының қосылуы оның физикалық-механикалық қасиеттеріне оң әсер етеді, шлак мөлшері үлгінің жалпы массасының 20% құрайды, сығымдалу беріктігі 9,6 МПа болды, бұл М100 кірпішіне сәйкес келеді; баға. Осылайша, мыс қожын өнеркәсіптік қалдықтарды қайта өңдеу және керамикалық қабырға

материалдарының қасиеттерін жақсарту үшін тиімді компонент ретінде қарастыруға болады.

SEM және EDS талдаулары мыс шлактарының керамикалық кірпіштің микроқұрылымы мен химиялық құрамына әсерін жақсырақ түсінуге мүмкіндік берді, бұл құрамы мен өндіріс технологиясын одан әрі оңтайландыру үшін маңызды. Үлгінің беті гетерогенді, айқын кеуекті аймақтары бар. Коперслак мөлшерінің ұлғаюымен микроқұрылым тығызырақ болады, бұл кеуектерді толтырумен және фазааралық өзара әрекеттесуді жақсартумен байланысты болуы мүмкін. Бөлшектердің өлшемі үлкейтуге байланысты бірнеше микрометрден жүздеген микрометрге дейін өзгереді.

Купер шлак материалдың химиялық құрамын қалыптастыруға белсенді қатысады, фазалық өзара әрекеттесулерді жақсартады және күшті құрылымды құруға ықпал етеді. Және бұл элементтік талдауда кальций (Ca), темір (Fe), алюминий (Al) және магний (Mg) бар екенін растайды.

Әдебиеттер тізімі

1. Дворкин, Л.И. Строительные материалы из отходов промышленности [Текст]: учебное пособие / Л.И. Дворкин, О.Л. Дворкин. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2007. – 368 с.
2. Woolley, G.R., Goumans, J., Wainwright P.J.(ed.). Waste materials in construction: Science and engineering of recycling for environmental protection. – Amsterdam: Elsevier, 2000. – 1064 p.
3. Романова, И.П. Использование отходов металлургической промышленности в строительной индустрии как способ сбережения природных ресурсов и снижения экологической напряженности [Текст] / И.П. Романова, О.Б. Бегунов // Территория науки. – 2016. – №2. – С.53-57.
4. Спиридонова, Е.В. Применение мартеновского шлака в производстве стекла [Текст] / Е.В. Спиридонова, Ф.Р. Кимаева // Стекло и керамика. – 1993. – №3. – С.6-7.
5. Кайрақбаев, А.К. Использование отходов обогащения цветной и черной металлургии Казахстана в производстве керамических материалов [Текст] / А.К. Кайрақбаев, Е.С. Абдрахимова, В.З. Абдрахимов // Экология и промышленность России. – 2019. – Т. 23. – №6. – С.12-16.
6. Сватовская, Л.Б. Керамическая масса для изготовления керамического кирпича [Текст] / Л.Б. Сватовская, Л.Л. Масленникова, Н.А. Бабак // Патент № 2494992 С1 Российская Федерация, МПК С04В 33/138.
7. Кравцов, А.В. Опыт применения техногенных отходов черной и цветной металлургии в производстве бетона / А.В. Кравцов, С.В. Цыбакин // Труды КГСХА. – 2015. – С.42-50.
8. Салонина, В.А. Возможности использования промышленных отходов для получения строительной керамики [Текст] / В.А. Салонина // Архитектура, строительство, транспорт. – 2022. – №4(102). – С.73–81.
9. Переработка медьсодержащих хвостов по технологии интенсивного выщелачивания [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://science-fund.kz/science-case/переработка-медьсодержащих-хвостов/>. Дата обращения: 15.08.24.
10. Павлов, М.В. Стеклокерамические материалы на основе хвостов обогащения свинцово-цинковых руд [Текст] / М.В. Павлов, И.В. Павлов, А.В. Линейцев, В.Ф. Павлов // Стекло и керамика. – 2016. – №12. – С.29-34.
11. Абдрахимов, Д.В. Керамический кирпич из отходов производства без применения традиционных природных материалов [Текст] / Д.В. Абдрахимов, П.Г. Комохов, А.В. Абдрахимов, В.З. Абдрахимов, Е.С. Абдрахимова // Строительные материалы. – 2002. – №8. – С.26-27.

12. ГОСТ 530-2012. Кирпич и камень керамические. Общие технические условия [Текст]. – Введ. 2012-07-01. – М.: Стандартинформ, 2013. – 27 с.

Материал редакцияға 29.01.25 түсті, 24.02.25 қабылданды.

Ж.Е. Калиева¹, Е. Ерланұлы¹, Д.Е. Мәжит¹, Е.Р. Орынбай¹, А.К. Қожас¹

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

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КУПЕРШЛАКА В ПРОИЗВОДСТВЕ КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА: АНАЛИЗ СВОЙСТВ И СТРУКТУРЫ

Аннотация. В данной работе рассмотрена разработка технологии производства керамического кирпича с добавлением медного шлака, исследование влияния этой смеси на свойства материала и оценка возможности его использования в промышленности. Добавление медного шлака в состав керамического кирпича положительно влияет на его механические свойства, в том числе повышает прочность. Изменения микроструктуры, определенные методом СЭМ, подтверждают улучшение когезионных свойств материала. В результате химического анализа полученный состав показал равномерное распределение элементов, что свидетельствует о стабильности состава. Использование медного шлака позволяет не только утилизировать металлургические отходы, но и снизить себестоимость производства керамического кирпича. Это способствует созданию экологически чистых строительных материалов, отвечающих современным требованиям устойчивого развития. Основные соединения представлены диоксидом кремния, оксидом кальция, оксидом алюминия, а также различными оксидами железа, магния, калия и сульфатами.

Ключевые слова: купершлак, керамический кирпич, промышленные отходы, Сканирующая электронная микроскопия, Энергодисперсионная спектроскопия, физические и химические свойства.

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

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

USE OF COPPER SLAG IN CERAMIC BRICK PRODUCTION: ANALYSIS OF PROPERTIES AND STRUCTURE

Abstract. In this work, the development of technology for the production of ceramic bricks with the addition of copper slag, the study of the influence of this mixture on the properties of the material and the assessment of the possibility of its use in industry are considered. Addition of copper slag to the ceramic brick has a positive effect on its mechanical properties, including increases strength. Changes in the microstructure, determined by the SEM method, confirm the improvement of the cohesive properties of the material. As a result of chemical analysis, the resulting composition showed a uniform distribution of elements, which indicates the stability of the composition. The use of copper slag allows not only to utilize metallurgical waste, but also to reduce the cost of production of ceramic bricks. This contributes to the creation of ecologically clean building materials that meet the modern requirements of sustainable development. The main compounds are represented by silicon dioxide, calcium oxide, aluminum oxide, as well as various oxides of iron, magnesium, potassium and sulfates.

Keywords: cooper slag, ceramic brick, scanning electron microscopy, energy dispersive spectroscopy, physical science and chemistry.

References

1. Dvorkin, L.I., Dvorkin, O.L. Stroitel'nye materialy iz otkhodov promyshlennosti [Construction materials from industrial waste]: a tutorial. – Rostov-on-Don: Phoenix, 2007. – 368 p. [in Russian].
2. Woolley, G.R., Goumans, J., Wainwright P.J. (ed.). Waste materials in construction: Science and engineering of recycling for environmental protection. – Amsterdam: Elsevier, 2000. – 1064 p.
3. Romanova I.P., Begunov O.B. Ispol'zovanie otkhodov metallurgicheskoy promyshlennosti v stroitel'noy industrii kak sposob sberezheniya prirodnykh resursov i snizheniya ekologicheskoy napryazhennosti [Use of metallurgical waste in the construction industry as a way to save natural resources and reduce environmental stress] // Territory of Science. – 2016. – No.2. – P. 53-57. [in Russian].
4. Spiridonova E.V., Kimaeva F.R. Primenenie martenskogo shlaka v proizvodstve stekla [Application of open-hearth slag in glass production] // Glass and ceramics. – 1993. – No.3. – P. 6-7. [in Russian].
5. Kairakbaev A.K., Abdrakhimova E.S., Abdrakhimov V.Z. Ispol'zovanie otkhodov obogashcheniya tsvetnoy i chernoy metallurgii Kazakhstana v proizvodstve keramicheskikh materialov [The use of waste from the enrichment of non-ferrous and ferrous metallurgy in Kazakhstan in the production of ceramic materials] / A. K. Kairakbaev, // Ecology and industry of Russia. – 2019. – Vol.23. – No.6. – P.12-16. [in Russian].
6. Svatovskaya, L.B., Maslennikova, L.L., Babak, N.A. Keramicheskaya massa dlya izgotovleniya keramicheskogo kirpicha [Ceramic mass for the production of ceramic bricks] // Patent № 2494992 C1 Russian Federation, IPC C04B 33/138. [in Russian].
7. Kravtsov A.V., Tsybakin S.V. Opyt primeneniya tekhnogennykh otkhodov chernoy i tsvetnoy metallurgii v proizvodstve betona [Experience in the use of technogenic waste from ferrous and non-ferrous metallurgy in concrete production] // Proceedings of the Kazan State Agricultural Academy, 2015. – P.42-50. [in Russian].
8. Solonina V.A. Vozmozhnosti ispol'zovaniya promyshlennykh otkhodov dlya polucheniya stroitel'noy keramiki [Possibilities of using industrial waste to produce construction ceramics] // Architecture, construction, transport. – 2022. – No.4(102). – P. 73-81. [in Russian].
9. Processing of copper-containing tailings using intensive leaching technology [Electronic resource]. – Access mode: <https://science-fund.kz/science-case/processing-of-copper-containing-tailings/>. Date of access: 08/15/24. [in Russian].
10. Pavlov M.V. Pavlov I.V., Linintsev A.V., Pavlov V.F. Steklokeramicheskie materialy na osnove khvostov obogashcheniya svintsovo-tsinkovykh rud [Glass-ceramic materials based on tailings of lead-zinc ores] // Glass and ceramics. – 2016. – No.12. – P. 29-34. [in Russian].
11. Abdrakhimov D.V., Komokhov P.G., Abdrakhimov A.V., Abdrakhimov V.Z., Abdrakhimova E.S. Keramicheskii kirpich iz otkhodov proizvodstva bez primeneniya traditsionnykh prirodnykh materialov [Ceramic bricks from industrial waste without the use of traditional natural materials] // Building materials. – 2002. – No.8. – P. 26-27. [in Russian].
12. GOST 530-2012. Kirpich i kamen keramicheskie. Obshchie tekhnicheskie usloviya [Ceramic brick and stone. General specifications]. – Introduced. 2012– 07– 01. – Moscow.: Standartinform, 2013. – 27 p. [in Russian].