ҒТАМР 87.53.91; 70.25.00 https://doi.org/10.26577/EJE208830126

Г.М. Адильбаева*, С.Х. Акназаров, О.С. Байракова, М.А. Бийсенбаев

«Жалын» ғылыми өндірістік-техникалық орталығы, Алматы, Қазақстан
*e-mail: adilbaevagulnaz@mail.ru

ҚҰРЫЛЫС КЕРАМИКАСЫ ТЕХНОЛОГИЯСЫНДА МЕХАНОАКТИВТЕНДІРІЛГЕН ҰШПА КҮЛДІ ҚОЛДАНУ

Жұмыста жылу электр станцияларының механоактивтендірілген ұшпа күлін қолдану кезінде құрылыс керамикасының құрылымы мен қасиеттерінің қалыптасу заңдылықтары зерттелді. Алдын ала механоактивтендіру бөлшектердің ұсақталуы және кристалдық құрылым ақауларының жинақталуы есебінен күлдің реакциялық қабілетін едәуір арттыратыны көрсетілді. Керамикалық масса құрамына механоактивтендірілген күлді енгізу жентектелу үдерістерін қарқындатып, күйдіру температурасын төмендетуге және материалдың тығыздау құрылымын қалыптастыруға ықпал ететіні анықталды. Күлдің оңтайлы мөлшері кезінде үлгілердің сығылу беріктігінің артуы және су сіңіргіштігінің төмендеуі тәжірибе жүзінде расталды. Алынған нәтижелер құрылыс керамикасын өндіруде техногендік шикізатты пайдаланудың жоғары тиімділігін көрсетеді және механоактивтендіруді құрылым түзілуін мақсатты түрде басқарудың перспективалы әдісі ретінде қарастыруға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: ұшпа күл, механоактивтендіру, құрылыс керамикасы, жентектелу, құрылым, беріктік, техногендік шикізат.

G.M. Adilbayeva*, S.Kh. Aknazarov, O.S. Bayrakova, M.A. Biisenbayev

«Zhalyn» Scientific Production and Technical Center, Almaty, Kazakhstan
*e-mail: adilbaevagulnaz@mail.ru

Application of mechanically activated fly ash in construction ceramics technology

The study examines the patterns governing the formation of the structure and properties of construction ceramics when using mechanically activated fly ash from thermal power plants. It is shown that preliminary mechanical activation leads to a significant increase in the reactivity of the ash due to an increase in dispersion and the accumulation of defects in the crystal structure. It has been established that introducing mechanically activated ash into the ceramic mass intensifies sintering processes, helps reduce the firing temperature, and promotes the formation of a denser material structure. Experimental confirmation has been provided for the increase in compressive strength and the reduction in water absorption of the samples at an optimal ash content. The obtained results indicate the high efficiency of using technogenic raw materials in the production of construction ceramics and allow us to consider mechanical activation as a promising method for the targeted control of structure formation.

Keywords: fly ash, mechanical activation, construction ceramics, sintering, structure, strength, technogenic raw materials.

Г.М. Адильбаева*, С.Х. Акназаров, О.С. Байракова, М.А. Бийсенбаев

Научный производственно-технический центр «Жалын», Алматы, Казахстан
*e-mail: adilbaevagulnaz@mail.ru

Применение механоактивированной золы уноса в технологии строительной керамики

В работе исследованы закономерности формирования структуры и свойств строительной керамики при использовании механоактивированной золы-уноса тепловых электростанций. Показано, что предварительная механоактивация приводит к существенному повышению реакционной способности золы за счёт увеличения дисперсности и накопления дефектов кристаллической структуры. Установлено, что введение механоактивированной золы в состав керамической массы интенсифицирует процессы спекания, способствует снижению температуры обжига и формированию более плотной структуры материала. Экспериментально подтверждено повыше-

 © 2026 Al-Farabi Kazakh National University

ние прочности при сжатии и снижение водопоглощения образцов при оптимальном содержании золы. Полученные результаты свидетельствуют о высокой эффективности использования техногенного сырья в производстве строительной керамики и позволяют рассматривать механоактивацию как перспективный метод направленного управления структурообразованием.

Ключевые слова: зола-уноса, механоактивация, строительная керамика, спекание, структура, прочность, техногенное сырьё.

Кіріспе

Құрылыс индустриясының қазіргі даму жағдайында табиғи ресурстарды ұтымды пайдалану және техногендік қалдықтарды шаруашылық айналымға тарту мәселесі ерекше өзекті болып отыр. Жылу электр станцияларында көмір жағу кезінде түзілетін күл-қож қалдықтарының елеулі көлемі қоршаған ортаға теріс әсер етеді және оларды кәдеге жаратудың тиімді тәсілдерін қажет етеді [1, 2]. Перспективалы бағыттардың бірі – оларды құрылыс материалдарын, соның ішінде керамикалық бұйымдарды өндіруде қолдану.

Негізінен кремний, алюминий, темір және кальций оксидтерінен тұратын ұшпа күлдің химиялық құрамы құрылыс керамикасы технологиясында қолданылатын дәстүрлі сазды шикізаттың құрамына көп жағынан жақын [3, 4]. Бұл оны қалыптау массаларының функционалдық компоненті ретінде пайдалануға негіз болады. Алайда оның шыны тәрізді құрылымы мен ірі дисперсті күйіне байланысты реакциялық қабілетінің салыстырмалы түрде төмен болуы шектеуші фактор болып табылады.

Осыған байланысты материалдың физика-химиялық күйін едәуір өзгертуге мүмкіндік беретін механоактивтендіру әдістерін қолдану ерекше қызығушылық тудырады. Қарқынды механикалық әсер нәтижесінде агрегаттар бұзылып, бөлшектердің өлшемі кішірейеді, меншікті бет ауданы ұлғаяды және кристалдық торда ақаулар түзіледі. Соның нәтижесінде заттың химиялық белсенділігі артады [9].

Бұл салада жекелеген зерттеулер болғанымен, ұшпа күлді механоактивтендірудің құрылым түзілу үдерістеріне және құрылыс керамикасының пайдалану қасиеттерінің қалыптасуына кешенді әсері жеткілікті зерттелмеген. Осы жайт керамикалық материалдардың физика-механикалық сипаттамаларына механоактивтендірілген ұшпа күлдің әсер ету заңдылықтарын анықтауға бағытталған зерттеудің өзектілігін айқындайды.

Зерттеу әдістері

Тәжірибелік зерттеулер Алексеев кен орнының сазды шикізатын және Алматы ЖЭО-2 күл-қож қалдықтарын пайдалана отырып жүргізілді. Аталған материалдар Қазақстандағы құрылыс керамикасының шикізат базасына тән әрі қолжетімді болғандықтан таңдалды.

Шикізатты дайындау кептіруді, ұсақтауды және стандартты елеуіштер жиынтығынан өткізуді қамтыды. Үшпа күл планетарлық ортадан тепкіш диірменде қосымша механоактивтендірілді (1-сурет). Бұл материалдың қарқынды үнтақталуын және дисперстілігінің артуын қамтамасыз етті. Активтендіру уақыты өзгертіліп отырды, бұл механикалық әсер дәрежесінің соңғы өнім қасиеттеріне ықпалын бағалауға мүмкіндік берді.

1-сурет
Fritsch Pulverisette 6 Classic Line планетарлық монодиірмені



Қалыптау массалары үшпа күлдің әртүрлі мөлшерімен дайындалды, содан кейін олардан жартылай құрғақ престеу әдісімен үлгілер жасалды (2-сурет). Бұл әдіс керамикалық кірпіш өндірісінде кеңінен қолданылатындықтан және тығыздығы жоғары, шөгуі аз бұйымдарды алуға мүмкіндік беретіндіктен таңдалды [12].

2-сурет
Үлгілер



3-сурет
Муфель пеші



Қалыпталған үлгілер бақыланатын жағдайларда кептірілді, содан кейін муфель пешінде (3-сурет) 900–1100 °С температура аралығында күйдірілді. Мұндай температура аралығы күлдің және оның активтену дәрежесінің жентектелу үдерістеріне әсерін бақылауға мүмкіндік берді.

Алынған материалдардың қасиеттерін бағалау үшін тығыздығы, су сіңіргіштігі және сығылу беріктігі сынақтан өткізілді. Сонымен қатар гранулометриялық құрам талданып, бастапқы шикізаттың химиялық-минералогиялық сипаттамалары бағаланды.

Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау

Химиялық-минералогиялық талдау зерттелген үшпа күлдің құрамы сазды шикізатқа жақын екенін көрсетті. Сондықтан оны керамикалық массаларда қолдануға болады. Оксидтердің арақатынасы бойынша жарамдылықтың есептік критерийлері бұл материалдың қалыптау массасының иілімділігі мен шөгуін реттейтін иілімділікті төмендеткіш қоспа ретінде қызмет ете алатынын көрсетті.

Күлді механоактивтендіру бөлшектердің орташа өлшемін 80–100 мкм-ден 20–40 мкм-ге дейін азайтып, меншікті бет ауданын 1,8–2,3 есе арттырды. Физика-химиялық қасиеттердің мұндай өзгеруі күйдіру кезінде сұйық фазаның түзілуін жеделдетіп, жентектелу температурасын 50–100 °С-қа төмендетті.

Физика-механикалық сынақтар қалыптау массасындағы күлдің оңтайлы мөлшері шамамен 20 % екенін көрсетті. Бұл ретте үлгілердің тығыздығы 1,65–1,70 г/см³-тен (бақылау үлгілері) 1,75–1,80 г/см³-ке, сығылу беріктігі 15–18 МПа-дан 20–25 МПа-ға дейін артты, ал су сіңіргіштігі 12–14 %-дан 9–11 %-ға дейін төмендеді.

Тәжірибе нәтижелері үшпа күлді механоактивтендіру жентектелу үдерістерінің кинетикасын едәуір өзгертетінін көрсетеді. Бөлшектердің дисперстілігі мен кристалдық құрылым ақауларының артуы диффузиялық үдерістерді жеделдетіп, керамикалық дененің тығыздау құрылымын қалыптастырады. Жентектелу температурасының төмендеуі энергия шығынын азайтуға, ал беріктік сипаттамаларының жақсаруы материалдың дәстүрлі керамикамен бәсекеге қабілетті болуына мүмкіндік береді.

Зерттеудің ғылыми жаңалығы механоактивтендіру дәрежесінің керамикалық бұйымдардың физика-механикалық қасиеттеріне әсерін сан-

дық түрғыдан анықтауда және күлдің оңтайлы мөлшерін белгілеуде жатыр. Жұмыс бастапқы шикізатты өзгерту арқылы құрылым түзілуін мақсатты түрде басқару мүмкіндігін көрсетеді. Бұл құрылыс керамикасының ресурсты үнемдейтін технологиясындағы перспективалы бағыт болып табылады.

Осылайша, механоактивтендірілген үшпа күлді қолдану өнеркәсіп қалдықтарын кәдеге жаратуға әрі бұйымдардың пайдалану сипаттамаларын жақсартуға мүмкіндік береді. Бұл технологиялық және экологиялық міндеттерді кешенді шешуге жағдай жасайды.

Қорытынды

Жүргізілген зерттеулер жылу электр станцияларының үшпа күлін құрылыс керамикасын өндіруге арналған шикізат қоспасының компоненті ретінде тиімді қолдануға болатынын көрсетті. Алдын ала механоактивтендіру күлдің реакциялық қабілетін арттырудың тиімді әдісі екені және жентектелу мен материал құрылымының қалыптасу үдерістеріне мақсатты түрде әсер етуге мүмкіндік беретіні анықталды.

Механоактивтендірілген күлді енгізу күйдіру температурасын төмендетуге, су сіңіргіштігін азайтуға және бұйымдардың беріктігін арттыруға ықпал ететіні анықталды. Күлдің шамамен 20 % мөлшері анағұрлым ұтымды болып табылады: осы мөлшерде технологиялық және пайдалану сипаттамаларының оңтайлы үйлесімі қамтамасыз етіледі.

Осылайша, механоактивтендірілген үшпа күлді пайдалану құрылыс керамикасының сапасын арттырумен қатар, өнеркәсіп қалдықтарын кәдеге жаратуға және қоршаған ортаға түсетін жүктемені азайтуға қатысты маңызды экологиялық міндеттерді шешуге мүмкіндік береді [1].

Авторлардың қосқан үлесі

Г.М. Адильбаева: тұжырымдама мен әдіснаманы әзірлеу, ғылыми жетекшілік, қолжазбаны редакциялау және пысықтау; С.Х. Акназаров: ғылыми жетекшілік, зерттеуді жүргізу, қолжазбаны редакциялау және пысықтау; О.С. Байракова: тұжырымдама мен әдіснаманы әзірлеу бойынша ғылыми кеңес беру, мәтінді рецензиялау және редакциялау; М.А.Бийсенбаев: зерттеуді жүргізу, деректерді жинау, өңдеу және валидациялау (растау).

Әдебиеттер

Guzman, I. Ya. (Ed.). (2012). *Khimicheskaya tekhnologiya keramiki* [Chemical technology of ceramics]. (In Russian)

Kondratenko, V. A. (2005). *Keramicheskie stenovye materialy* [Ceramic wall materials]. Kompozit. (In Russian)

Saybulatov, S. S. (2000). *Polusukhoe pressovanie* [Semi-dry pressing]. (In Russian)

Solodanina, N. V., & Kolosova, Yu. (2018). Tekhnogennye otkhody kak sostavnaya chast' stroitel'nykh materialov [Technogenic waste as a component of building materials]. *Alleya nauki*, (2)(18). https://alley-science.ru/ (In Russian)

Tselykovskiy, Yu. K. (2000). Napravleniya ispol'zovaniya zoloshlakovykh otkhodov TES [Directions for the use of ash and slag waste from thermal power plants]. *Elektricheskie stantsii*, (10), 25–30. (In Russian)

Vlasova, V. V., & Vlasov, A. I. (2009). Mekhanoaktivatsiya zoloshlakov [Mechanical activation of ash and slag]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. (In Russian)

Авторлар туралы мәлімет:

Адильбаева Гульназ Максутовна – «Жалын» ғылыми-өндірістік техникалық орталығының аға ғылыми қызметкері (Алматы, Қазақстан, e-mail: adilbaevagulnaz@mail.ru).

Акназаров Сестагер Хусаинович – химия ғылымдарының докторы, «Жалын» ғылыми-өндірістік техникалық орталығының бас директоры (Алматы, Қазақстан, e-mail: sestager@mail.ru).

Байракова Ольга Степановна – инженер-химик, «Жалын» ғылыми-өндірістік техникалық орталығының аға ғылыми қызметкері (Алматы, Қазақстан, e-mail: o.bayrakova@inbox.ru).

Бийсенбаев Махмуд Ахмеджанович – химия ғылымдарының кандидаты, «Жалын» ғылыми-өндірістік техникалық орталығының жетекші ғылыми қызметкері (Алматы, Қазақстан, e-mail: bijsenbay@gmail.com).

Information about the authors:

Gulnaz M. Adilbayeva – Senior Researcher at the Scientific Production and Technical Center «Zhalyn» (Almaty, Kazakhstan, e-mail: adilbaevagulnaz@mail.ru).

Sestager Kh. Aknazarov – Doctor of Chemical Sciences, Director General of the Scientific Production and Technical Center "Zhalyn" (Almaty, Kazakhstan, e-mail: sestager@mail.ru).

Olga S. Bairakova – Chemical Engineer, Senior Researcher at the Scientific Production and Technical Center "Zhalyn" (Almaty, Kazakhstan, e-mail: o.bayrakova@inbox.ru).

Makhmud A. Biisenbayev – Candidate of Chemical Sciences, Leading Researcher at the Scientific Production and Technical Center "Zhalyn" (Almaty, Kazakhstan, e-mail: bijsenbay@gmail.com).

Сведения об авторах:

Адильбаева Гульназ Максутовна – старший научный сотрудник Научно-производственного технического центра «Жалын» (Алматы, Казахстан, e-mail: adilbaevagulnaz@mail.ru).

Акназаров Сестагер Хусаинович – доктор химических наук, генеральный директор Научно-производственного технического центра «Жалын» (Алматы, Казахстан, e-mail: sestager@mail.ru).

Байракова Ольга Степановна – инженер-химик, старший научный сотрудник Научно-производственного технического центра «Жалын» (Алматы, Казахстан, e-mail: o.bayrakova@inbox.ru).

Бийсенбаев Махмуд Ахмеджанович – кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник Научно-производственного технического центра «Жалын» (Алматы, Казахстан, e-mail: bijsenbay@gmail.com).

Поступила 14 мая 2026 года
Принята 25 сентября 2026 года