

УДК 666.3.022.2:666.5:531.3
DOI: 10.36979/1694-500X-2025-25-4-120-123

КИНЕТИКА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ФАРФОРОВОГО КАМНЯ

С.Ж. Жекишева

Аннотация. Исследуется кинетика измельчения нетрадиционных нерудных (фарфорового камня) сырьевых материалов керамической промышленности. Рассматриваются физико-механические процессы, происходящие при разрушении твердых тел под действием внешней нагрузки, дисперсный состав как одна из важнейших характеристик тонкоизмельченных материалов, определяющая их физико-химические свойства, технологические качества и область практического использования. Приведены теоретические основы кинетики измельчения фарфорового камня месторождения Джаны-Джол сухим и мокрыми способами. На базе лабораторных исследований установлена удельная скорость измельчения.

Ключевые слова: кинетика измельчения; сырье; дисперсность; структура; спайность; фарфоровый камень; шаровая мельница; помол; фракция.

ФАРФОР ТАШТЫ МАЙДАЛООНУН КИНЕТИКАСЫ

С.Ж. Жекишева

Аннотация. Макала керамика өнөр жайынын салттуу эмес (фарфор таш) чийки затын майдалоо кинетикасына арналган. Сырткы күчтүн таасири астында катуу заттардын майдаланыш учурундагы физикалык-механикалык процесстери каралат, алардын физикалык жана химиялык касиеттерин, технологиялык сапаттарын жана практикалык колдонуу чөйрөсүн аныктаган, курамынын майдаланышы материалдардын эң маанилүү мүнөздөмөлөрүнүн бири экенин көрсөткөн. Макалада Жаңы-Жол фарфор ташын кургак жана нымдуу ыкмалар менен майдалоонун кинетикасынын теориялык негиздери берилген. Лабораториялык изилдөөлөрдүн негизинде фарфор таштын майдалануусунда өзгөчө ылдамдыгы белгиленген.

Түйүндүү сөздөр: майдалоо кинетикасы; чийки зат; дисперсия; түзүлүш; бөлүү; фарфор таш; шар тегирмен; майдалоо; бөлүкчөлөр.

KINETICS OF GRINDING PORCELAIN STONE

S.Zh. Zhekisheva

Abstract. The article is devoted to the kinetics of grinding of non-metallic (porcelain stone) raw materials of the ceramic industry. The article examines the physical and mechanical processes occurring during the destruction of solids under the influence of external loads, the dispersed composition as one of the most important characteristics of finely ground materials, determining their physical and chemical properties, technological qualities and area of practical use. The article presents the theoretical basis of the kinetics of grinding of porcelain stone Dzhanly-Dzhol by dry and wet methods. Based on laboratory studies, the specific grinding rate was established.

Keywords: grinding kinetics; raw materials; dispersion; structure; cleavage; porcelain stone; ball mill; grinding; fraction.

При создании фарфоровых изделий необходимо учитывать как фундаментальные основы материаловедения, так и основные положения теории (классической формулы) выдающихся деятелей науки – академиков Н.С. Курнакова и И.В. Тананаева – «состав – структура – дисперсность – свойства».

Одним из перспективных направлений улучшения качества фарфора является повышение однородности его структуры за счет увеличения дисперсности исходных компонентов, что позволяет стабилизировать фазовый состав и улучшить весь комплекс физико-механических свойств. Повышение

дисперсности исходных компонентов массы предполагает новый подход к методам оформления заготовок изделий. Применение эффективных методов формования в сочетании с высокой дисперсностью масс позволяет получить фарфоровые изделия с высоким уровнем физико-механических свойств.

Процессы тонкого и сверхтонкого измельчения компонентов фарфора всегда сопровождаются увеличением запаса внутренней и поверхностной свободной энергии измельчаемого продукта, которая с успехом может быть направлена на увеличение эффективности технологических процессов, таких как кристаллизация, ускорение химических реакций, синтез новых материалов. Установлено, что механическая энергия, подведенная в процессе измельчения к твердому телу, частично усваивается им в виде точечных, линейных дефектов и новой поверхности. Так, по данным различных исследований доказано, что в твердом теле остается от 10 до 30 % энергии, что и способствует повышению его химической активности [1, 2].

Кроме того, уменьшение размера исходных частиц в фарфоровой массе понижает температуру спекания изделий, что позволяет снизить себестоимость продукции, поскольку сам процесс измельчения является достаточно энергоемким. Для сокращения энергозатрат и повышения эффективности измельчения необходимо изучить закономерности процесса измельчения, а также свойства измельчаемого материала.

В работах [3] доказана актуальность исследований по вовлечению в производственный оборот новых нетрадиционных видов минерального сырья – фарфорового камня Кыргызской Республики, внедрению технологии по его переработке и использованию во многих отраслях промышленности в составе фарфора, стекла, бумаги, косметики, в строительных материалах.

Необходимо отметить, что кинетика измельчения каменного материала зависит от строения и структуры породы. Фарфоровые камни Джаны-Джольского месторождения представляют собой горную породу белого, серого и розоватого цветов, сильно текстурированными с обломочными элементами структуры, вытянутыми в одном направлении. Порода довольно рыхлая, легко поддается измельчению и относится к мусковит (серицит)-кварцевому биминеральному типу.

Рыхлость породы, на наш взгляд, связана с тем, что межпакетные связи в кристалле довольно слабые, проявляются в весьма совершенной спайности, т. е. сравнительно легкой расщепляемости кристалла по межпакетным плоскостям. Эти плоскости совпадают с плоскостью элементарной ячейки кристалла. Концентрация атомов в межпакетных зонах в кристалле примерно в три раза меньше, чем в других направлениях. Поэтому силы взаимодействия между пакетами на один порядок меньше величины внутрипакетных сил. Это обстоятельство является основной причиной резкого различия физических свойств слюды в двух направлениях: параллельно и перпендикулярно плоскости спайности.

При использовании фарфорового камня в составе фарфора, как одного из основных компонентов, он подвергается различным технологическим подготовительным операциям – грубому, тонкому помолу и другим воздействиям.

Для установления кинетики технологии измельчения в условиях лаборатории ВНИИЭКа (г. Москва) нами были исследованы процессы помола фарфорового камня месторождения Джаны-Джол.

Фарфоровый камень на данном месторождении имеет разные размеры частиц (размер кусков 10 и более см). Измельчение механическими способами проводили в сухом и мокром состоянии. При сухом помоле по мере возрастания дисперсности порошка дробящий эффект становится все менее заметным, так как образующиеся тонкие частицы защищают крупные от ударов. Предварительное сухое измельчение производили на щековой дробилке.

В таблице 1 приведен гранулометрический состав фарфорового камня после измельчения на щековой дробилке.

Далее фарфоровый камень просеивали через сито N 2.5 (II.2 отв/см²), а остаток на сите использовали для повторного измельчения на щековой дробилке.

Наиболее распространенные машины из всех известных для тонкого измельчения фарфорового сырья – это *шаровые мельницы*. В них можно проводить помол не только сухих материалов, но

Таблица 1 – Гранулометрический состав фарфорового камня после помола на щековой дробилке

Показатель	Размер частиц, мкм		
	2500	2500–60	60
Содержание, масс. %	8,94	89,57	21,49

и суспензий. Жидкость оказывает расклинивающее действие в дефектах кристаллов и препятствует срастанию трещин. В качестве среды для помола применяют воду и органические вещества.

Фарфоровые камни помещают в мельницу (барабан) вместе с мелющими телами (уралитовые шары), а саму мельницу помещают на валы и вращают в течение некоторого времени. За счет ударов и истирания обеспечивается получение целевой фракции практически для любых материалов, обычно это составляет 0,06–0,1 мм.

Для исследования кинетики измельчения фарфорового камня мокрым способом была использована шаровая мельница емкостью 10 литров, общее заполнение мельницы составляло 73,4 % объема, критическая скорость вращения – 64 об/мин, измельчение производили уралитовыми шарами при соотношении фарфоровый камень:мелющие тела:вода, равном 1:1.2:1.

Через определенные промежутки времени из мельницы отбирали пробы, дисперсность которых характеризовали величиной остатка на сите с сеткой 006 (10 000 отв/см²). Полученные результаты приведены в таблице 2 и на рисунке 1.

Из приведенных данных видно, что наиболее интенсивный помол фарфорового камня происходит в первые три часа измельчения и заканчивается к 6–7 часам.

Необходимо отметить, что тонкий помол производили по стандартной методике, а кинетика измельчения фарфорового камня Джаны-Джольского месторождения была аналогична кинетике измельчения Гусевского (Россия) фарфорового камня, помол которого идет в течение 15–17 часов [4].

Разница в длительности помола объясняется особенностью состава, строения и структуры породы. Строение, структура и химические связи между элементами фарфорового камня Джаны-Джольского месторождения отмечены выше. Структура Гусевского фарфорового камня плотная, массивная, скрыто зернистая, а строение и структура породы, обусловленные высокой степенью кристалличности, абсолютным и относительным размером зерен, их формой, а также взаимоотношением составных частей породы между собой создает определенные трудности и увеличивает длительность кинетики помола и механоактивации породы.

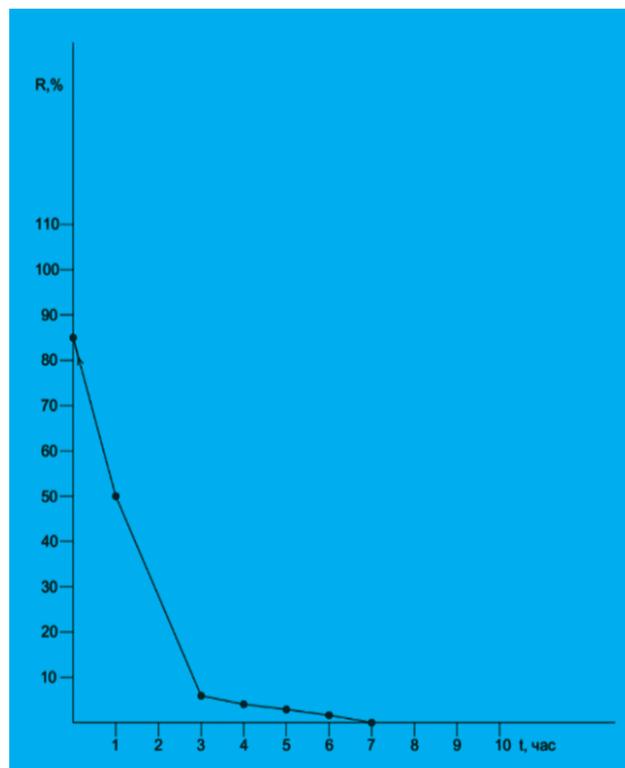
При производстве фарфора процесс тонкого и особо тонкого измельчения весьма энергоёмкий и материалоемкий. Так, в циклах обогащения он поглощает свыше 50 % электроэнергии и требует больших капитальных и эксплуатационных затрат. Основное оборудование, применяемое для помола – это вращающиеся барабанные шаровые мельницы различных конструкций, которые характеризуются низкой удельной производительностью и большой энергоёмкостью [5].

Практические результаты экспериментальных исследований, проведенных на лабораторных установках показали, что технологический процесс при помоле керамической массы на основе фарфорового камня Джаны-Джольского месторождения осуществляется всего в течение 3–5 часов, следовательно, достигается снижение удельного расхода электроэнергии и эксплуатационных затрат на оборудование, что дает большой экономический эффект.

Таким образом, в результате комплекса проведенных исследований и экспериментальных работ была установлена принципиальная возможность использования мусковит-серицит-кварцевую горную породу Джаны-Джольского месторождения Кыргызской Республики в качестве сырья для производства фарфора.

Таблица 2 – Дисперсность фарфорового камня после измельчения в шаровой мельнице

Показатель	Время помола, час					
	До помола	1	2	3	4	5
Остаток на сите № 006, масс %	76,40	52,37	27,39	3,08	1,37	0,59

Рисунок 1 – Измельчение остатка на сите 10 000 отв/см² в зависимости от времени помола

Поступила: 24.03.2025; рецензирована: 08.04.2025; принята: 10.04.2025.

Литература

1. Горлов И.В. Моделирование процесса разрушения слабых горных пород, обладающих пластическими свойствами / И.В. Горлов, П.Е. Митусов // Вестник Тверского гос. техн. ун-та. Серия «Технические науки». 2023. № 4 (20). С. 26–36.
2. Авакумов Е.Г. Фундаментальные основы механической активации, механосинтеза и механохимических технологий / Е.Г. Авакумов, В.В. Болдырев. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. 343 с.
3. Жекишева С.Ж. Керамические материалы на основе минерального сырья Кыргызской Республики: автореф. дис... д-ра техн. наук / С.Ж. Жекишева. Ташкент, 1995.
4. Платов Ю.Т. Исследование влияния новых сырьевых материалов на структуру и свойства бытового фарфора: автореф. дис... канд. техн. наук / Ю.Т. Платов. М., 1978. 192 с.
5. Плетнев П.М. Композитный материал с высокой устойчивостью к истиранию / П.М. Плетнев, Е.А. Семанцева, С.А. Шахов // Эксперт: теория и практика. 2023. № 4(23). С. 89–94.