

Механохимическая обработка частиц алюминия для получения энергоемких материалов

А.Б. Артыкбаева^{1,2*}, А.Е. Баккара^{1,2}, Б.С. Садыков¹, Т.Б. Осеров¹,
А.С. Хайруллина¹, А.Е. Матен^{1,2}, Р.А. Жаленов²

¹Институт проблем горения, ул. Богенбай батыра, 172, Алматы, Казахстан

²Казахский национальный университет им. аль-Фараби, пр. аль-Фараби, 71, Алматы, Казахстан

АННОТАЦИЯ

В данной работе исследовано применение двух марок порошкообразного алюминия различной дисперсности: крупнодисперсного алюминия (КД) с размерами частиц более 200 мкм и А1 ПА4 с размерами частиц от 20 до 63 мкм в качестве компонентов для энергоемких материалов. Пластичность алюминиевых частиц затрудняет их механическое измельчение, поэтому для облегчения процесса диспергирования были добавлены модификаторы, такие как стеариновая кислота, графит и поливиниловый спирт. После механохимической обработки А1 ПА4 с 20% графитом размер частиц полученного порошка составлял менее 20 мкм. При добавлении 3% ПВС средний размер частиц составил 16,1 мкм, а при использовании 20% ПВС – увеличился до 30,5 мкм. Удельная поверхность после механического воздействия также возросла до 4,976 и 14,648 м²/г, соответственно. Увеличение содержания графита и поливинилового спирта в композитах приводит к росту активности алюминия, тогда как содержание стеариновой кислоты выше 3% вызывает снижение прироста активности. Таким образом, механохимическая обработка порошков алюминия с использованием различных органических модификаторов позволяет значительно изменить их морфологические и структурные свойства. Полученные результаты открывают новые перспективы для создания энергоемких материалов с улучшенными характеристиками, которые могут найти широкое применение в различных областях, включая энергетику и топливные технологии.

Ключевые слова: модификатор, алюминий, стеариновая кислота, поливиниловый спирт, графит, механохимическая обработка

1. Введение

В современном мире, где поиск эффективных источников энергии становится все более актуальным, разработка новых материалов с высокой энергоемкостью представляет собой важную задачу [1]. Одним из перспективных подходов является механохимическая обработка частиц алюминия, которая позволяет создать энергоемкие материалы без необходимости применения высоких температур и давлений, что делает процесс более экономичным и безопасным. Механохимическая обработка заключается в использовании механической энергии для инициирования химических реакций, что приводит к изменению

структуры и свойств материалов [2]. Этот метод позволяет контролировать параметры обработки и, соответственно, свойства конечных продуктов. Преимущества механохимической обработки включают низкие затраты, высокую эффективность и возможность массового производства [3]. В последние десятилетия механохимическая обработка металлических порошков, включая алюминиевые, привлекает значительное внимание исследователей [4].

Металлы являются дорогостоящими продуктами, но их остаточные отходы представляют серьезную экологическую проблему, поскольку они не поддаются биологическому разложению [5]. Металлические порошки, такие как алюминиевая пудра, представляют собой особый тип наполнителя, используемый в промышленном производстве композитов для придания им особых свойств,

*Ответственный автор

E-mail: artykbaeva_aida3@live.kaznu.kz

таких как тепло- и электропроводность, чувствительность к магнитным полям и теплоемкость, а также для улучшения характеристик формования [6]. Однако механохимическая обработка применяется и к другим металлам, таким как титан и магний, для создания энергоемких материалов. Эти материалы также имеют высокие показатели энергоемкости, но их механохимическая обработка часто требует более сложных условий и более высоких затрат на оборудование и энергию [7]. Хадеф О. рассмотрел синтез интерметаллидов посредством механохимической обработки, указывая на специфические преимущества и сложности данного подхода. В то же время, такие подходы часто сопровождаются необходимостью точного контроля параметров обработки и сложностью в воспроизведении результатов в промышленных масштабах [4].

Алюминий благодаря своей легкости, коррозионной стойкости и высокой удельной прочности, является идеальным кандидатом для разработки энергоемких материалов. Механохимическая обработка алюминиевых порошков позволяет получать соединения с различными элементами, такими как кислород, азот и сера, что способствует созданию энергоемких материалов, например, алюминиевых нитратов и гидроксидов. Несмотря на значительные достижения, механохимическая обработка алюминия все еще требует дальнейших исследований для оптимизации процесса и улучшения характеристик конечных материалов [8]. Проблема заключается в недостаточном понимании влияния различных параметров обработки на структуру и химическую реакционную активность частиц алюминия. Кроме того, необходимо разработать методы для стабилизации и повышения активности алюминия путем использования различных модифицирующих добавок [9].

Цель данного исследования состоит в анализе воздействия механохимической обработки на структуру поверхностного слоя и химическую реакционную активность частиц алюминиевых порошков при использовании разнообразных модифицирующих добавок. Модифицирующие добавки предназначены для уменьшения разме-

ра частиц металла, изменение их формы и поверхностного состава, а также для повышения и стабилизации активности алюминия.

2. Экспериментальная часть

В ходе исследования использовали крупнодисперсные алюминиевые частицы (КД) и алюминиевый порошок ПА4, содержащий 95,8% металлического алюминия. Средний размер частиц алюминия ПА4 составляет 50 мкм, а алюминия КД – 200 мкм.

В качестве органических модификаторов были применены графитовая пудра марки ГЛ-1, поливиниловый спирт (C_2H_3OH)_n и стеариновая кислота $C_{17}H_{35}COOH$. Поливиниловый спирт улучшает адгезию и равномерное распределение компонентов, повышая плотность и энергоемкость материалов. В то же время стеариновая кислота действует как смазочный агент, облегчая формирование компактных структур и улучшая качество конечного продукта. Дополнительно графит снижает трение и износ, обеспечивая эффективное распределение тепла и улучшая антифрикционные свойства, что повышает долговечность энергоемких материалов. В таблице 1 приведены основные характеристики выбранных реагентов для проведения экспериментальных исследований.

Процесс механохимической обработки (МХО) проводился с использованием центробежно-планетарной мельницы ЦПМ «PULVERISETTE 5» от компании «FRITSCH». В процессе измельчения варьировалось количество вводимых модифицирующих добавок (от 3 до 20%), а время измельчения было установлено на уровне 20 мин в соответствии с результатами предварительных исследований. Для предотвращения окисления частиц алюминия кислородом воздуха после проведения МХО образцы диспергированной смеси, содержащей алюминий и органическую добавку, пассивировались гексаном.

Для анализа микроструктуры была использована сканирующая электронная микроскопия «Quanta 3D 200i Dual system», обеспечивающая возможность изображения поверхности порошков. Поверхностная структура частиц ис-

Таблица 1. Физические свойства реагентов, используемых для эксперимента

Название соединения	Химическая формула	Плотность, г/см ³	Молекулярная масса, г/моль
Алюминий	Al	2,702	26,982
Графит	C	2,26	12,011
Поливиниловый спирт	(C_2H_3OH) _n	1,19-1,31	$1 \cdot 10^6$ - $2 \cdot 10^6$
Стеариновая кислота	$C_{17}H_{35}COOH$	0,94	284,191

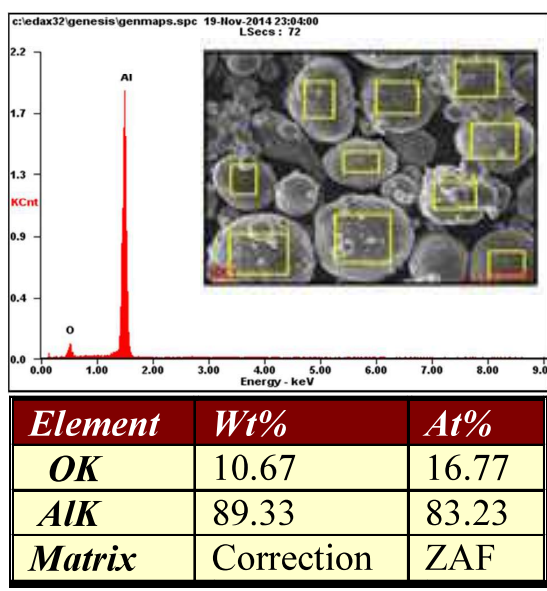


Рис. 1. Энергодисперсионный спектр и массовая доля элементов в составе исходного образца Al КД.

следована с использованием электронного просвечивающего микроскопа «JEM-100CX» при напряжении 100 кВ. Подготовка образцов включала их диспергирование в дистиллированной воде и последующую ультразвуковую обработку.

Для рентгенофазового анализа был использован дифрактометр «ДРОН-4М» с кобальтовым и медным излучением K_α в пределах углов от $2\theta = 10^\circ$ до 70° .

3. Результаты и обсуждение

Согласно результатам EDX анализа, энергодисперсионный спектр показывает, что в составе алюминия КД присутствуют различные примеси и оксидные пленки на поверхности металлических частиц (рис. 1). Анализ исходного алюминия ПА4 демонстрирует, что содержание кислорода превышает 10%. Наличие атомов кислорода указывает на существование значительного оксидного слоя на поверхности частиц.

Для определения оптимальных условий получения наночастиц металлов варьировали время механохимической обработки (МХО) и количество графита в обрабатываемой смеси. Было обнаружено, что при содержании более 20% графита в смеси алюминий-графит (Al-C) и времени обработки более 20 мин подверженная воздействию воздуха активированная смесь может самовозгораться вследствие восстановления оксидной пленки на поверхности частиц. Поэтому для обработки частиц металлов алюминия выбрано время 20 минут. Для оценки активности композита алюминий-графит (Al-C) был использован волюметрический метод анализа (табл. 2).

Результаты анализа показали, что увеличение массовой доли графита в композите Al-C от 5 до 20% позволяет повышать содержание активного алюминия. В исходном порошке Al (КД) содержание активного алюминия составляет 95,60%, а в порошке марки Al ПА4 – 99,50%. После 20 мин механохимической обработки композитов Al-C с использованием различных марок алюминия и соотношением компонентов 95-5%, содержание активного Al КД составляет 97,56%, а в случае с алюминием марки ПА4 – 95,89%. При снижении массовой доли Al КД в смеси на 5% отмечается повышение активности композита по сравнению с исходным алюминием. Это объясняется тем, что в процессе МХО углерод восстанавливает оксидную пленку на поверхности алюминиевых частиц. В результате содержание активного алюминия в композите Al-C увеличивается.

Удельная поверхность композита (Al КД 80%+C 20%) после 20 мин МХО, согласно результатам анализа методом БЭТ, составляет 8,842 м²/г, удельная поверхность композита (Al ПА4 80%+C 20%) – 9,554 м²/г. Результаты анализа частиц образца (Al КД 80%+C 20%) после 20 мин МХО методом EDX показывают, что в составе композита массовая доля алюминия составляет около 68%, а доля атомов кислорода – примерно 5% (рис. 2 (а)), а в составе композита (Al ПА4

Таблица 2. Содержание активного алюминия в составе композита алюминий-графит (Al-C) после 20 минут МХО

Состав композитов	Содержание активного Al, %	Состав композитов	Содержание активного Al, %
Алюминий (КД) исходный	95,60	Al ПА4 исходный	99,50
Al КД 95%+C 5%	97,56	Al ПА4 95%+C 5%	95,89
Al КД 90%+C 10%	92,46	Al ПА4 90%+C 10%	90,35
Al КД 85%+C 15%	91,41	Al ПА4 85%+C 15%	91,46
Al КД80%+C 20%	87,62	Al ПА4 80%+C 20%	88,06

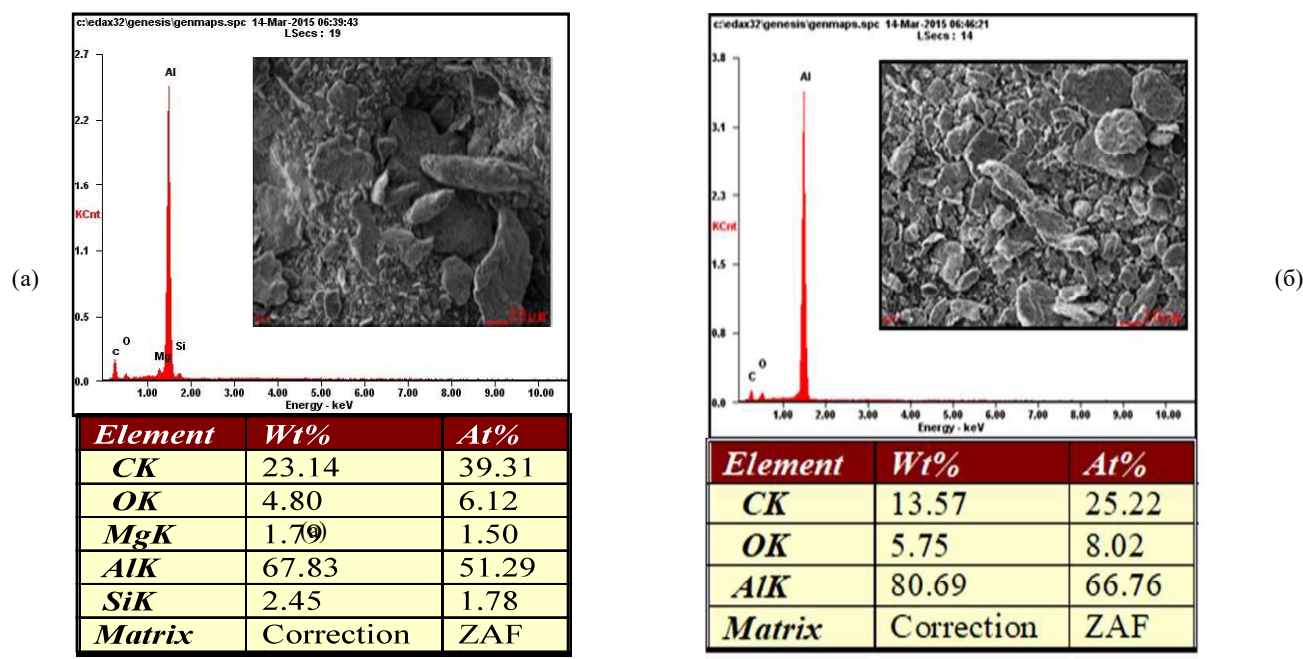


Рис. 2. Энергодисперсионный спектр и массовая доля элементов в композите (а. Al КД 80%+С 20%; б. Al ПА4 80%+С 20%) после МХО, время 20 минут.

80%+С 20%) – 81% алюминия и около 6% атомов кислорода. Эти данные указывают на наличие оксидной пленки на поверхности частиц (рис. 2 (б)).

Результаты анализа РФА указывают на отсутствие образования соединений между алюминием и углеродом в композите после 20 мин механохимической обработки смеси Al КД-С при соотношении компонентов 80-20 (рис. 3). По результатам рентгенофазового анализа, в исследуемом образце композита Al ПА4 80%+С 20% после МХО присутствует уже не графит, а рентгеноаморфная углеродная фаза.

Размер частиц полученного порошка из композита с 20% графитом в результате МХО получают порошок, содержащий частицы в виде металлических пластинок. Размер частиц составляет менее

20 мкм, а толщина металлических пластинок значительно меньше одного микрона (рис. 4 (б)). В то же время частицы алюминия из композита с 10% С после МХО, которые имеют форму пластинок нанометровой толщины, измеряются в достаточно широком диапазоне (от 5 до 20 и более мкм).

Из представленных результатов следует, что независимо от марки алюминия с увеличением содержания углерода в композите активность алюминия возрастает. Однако при содержании 10% графита в композите Al-С интенсивность прироста активности снижается (рис. 5). Это можно объяснить тем, что в процессе измельчения смеси Al 90%-С 10% в течение 20 мин наблюдается значительное повышение температуры в реакторе, способствующее отжигу дефектов в диспергиру-

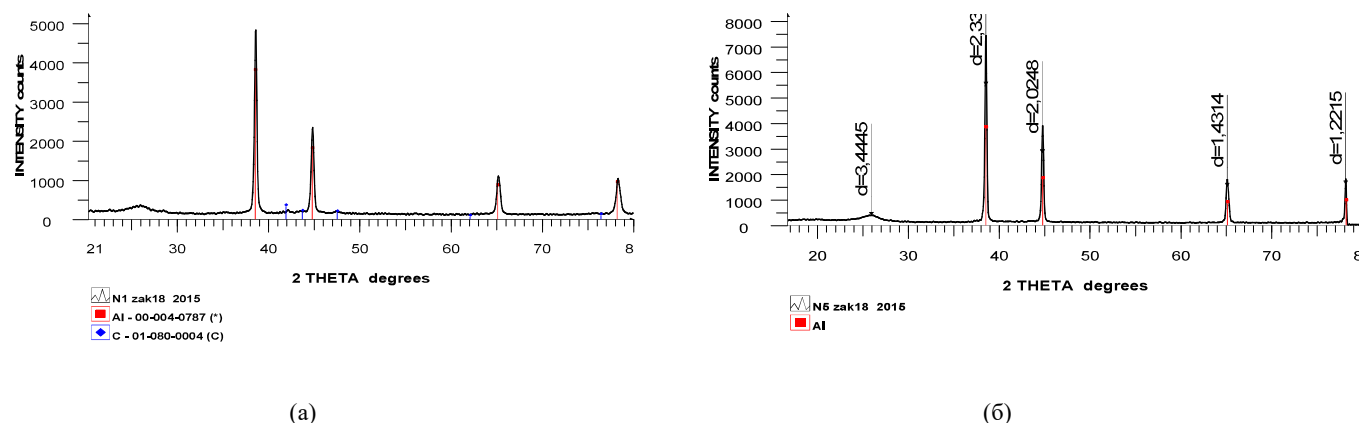


Рис. 3. Дифрактограммы образцов ((a) Al КД 80%+С 20%; (б) Al ПА4 80%+С 20%) после МХО, время 20 минут.

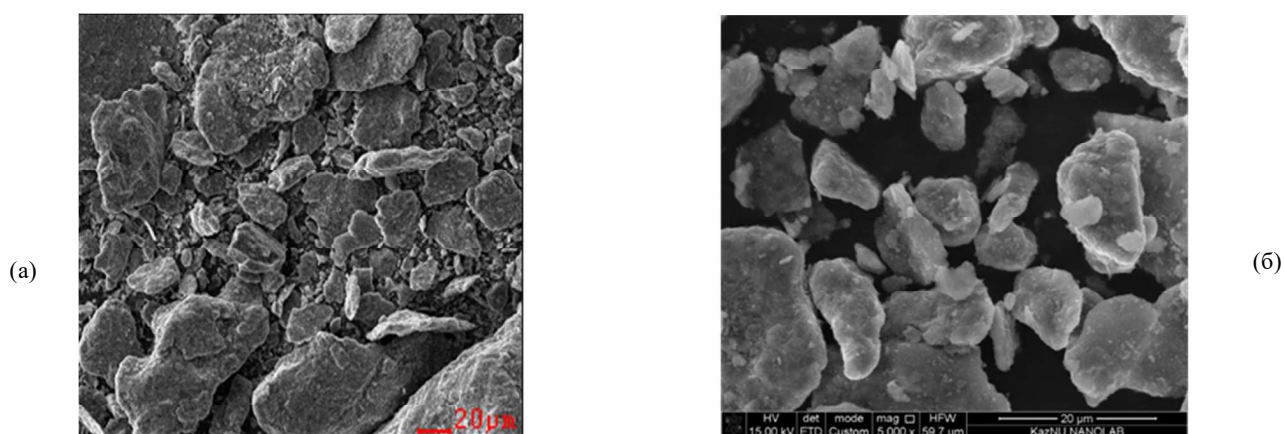


Рис. 4. Структура композита ((а) Al КД90%+C10%; (б) Al ПА480%+C20%) после МХО, время 20 минут.

емых частицах алюминия и, следовательно, некоторому снижению его активности.

Для оценки структурных характеристик частиц алюминия после проведения процесса МХО были исследованы размеры кристаллитов с применением метода Шеррера (табл. 3).

Согласно результатам анализа, в процессе механохимической обработки размер кристаллитов изменяется (таблица 3). При измельчении алюминия марки Al КД с увеличением количества углерода наблюдается тенденция к уменьшению размера кристаллитов. При МХО алюминия марки Al ПА4 происходит наоборот рост кристаллитов при увеличении содержания углерода в композите Al-C. Изменение габаритных характеристик кристаллической структуры указывает на внедрение атомов углерода в зерно алюминиевой частицы, которые мигрируют внутри ее объема под воздействием механических напряжений.

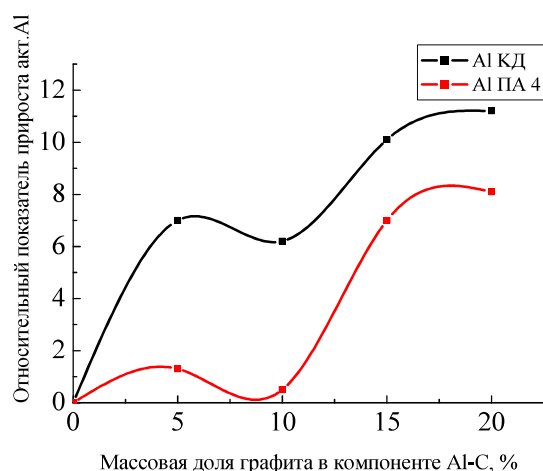


Рис. 5. Относительный показатель увеличения активного алюминия в композите Al-C после 20 минут МХО при изменяющемся содержании графита.

Вероятно, для алюминия высокой чистоты этот процесс способствует транспортировке дефектов к границе зерна частицы, что приводит к увеличению размера кристаллитов. Крупнодисперсный алюминий (КД) содержит некоторое количество примесей, присутствие которых способствует накоплению и стабилизации дефектов в процессе измельчения частиц алюминия.

В ходе обработки образца алюминия поливиниловым спиртом (ПВС) и стеариновой кислотой (СК) в аналогичных условиях размер кристаллитов сокращается до 374 Å при добавлении 3% модификатора и до 343 Å при добавлении 20% модификатора в композит. В присутствии стеариновой кислоты структурные изменения частиц под механическим воздействием неоднозначны: размер кристаллитов значительно увеличивается до 700 Å при 3% и 20%, соответственно. Это может быть связано с тем, что дислокации, возникающие при механическом воздействии на поверхность образца, перемещаются в область химического взаимодействия частиц с органическими модификаторами.

При диспергировании алюминиевых частиц ПА4 в композите с ПВС и СК одновременно с уменьшением их размеров происходит агрегация частиц, приводящая к формированию слоистых структур. Средний размер частиц при добавлении 3% ПВС составляет 16,1 мкм, а при использовании 20% ПВС увеличивается до 30,5 мкм. Удельная поверхность после механического воздействия также возрастает до 4,976 и 14,648 м²/г для композитов с 3 и 20 % ПВС, соответственно, что объясняется высокой неоднородностью поверхностного слоя частиц, включая трещины и поры. Воздействие стеариновой кислоты на алюминий во время механической обработки усиливает агломерацию частиц: средний размер частиц с 3%

Таблица 3. Размеры кристаллитов композитов Al-C после 20 минут МХО

Состав композитов	Габаритные характеристики		
	(111)	(200)	(220)
	38,50 20	44,75 20	65,15 20
	L, Å	L, Å	L, Å
Al КД 95%+C 5%	402	375	295
Al КД 90%+C 10%	415	350	310
Al КД 85%+C 15%	400	332	330
Al КД 80%+C 20%	405	342	285
Al ПА4 95%+C 5%	492	450	442
Al ПА4 90%+C 10%	542	475	520
Al ПА4 85%+C 15%	550	545	560
Al ПА4 80%+C 20%	695	590	570

СК составляет 38 мкм, а с 20% СК увеличивается до 46 мкм (рис. 6 (б)). Адсорбированные органические реагенты формируют на поверхности алюминиевых частиц капсулирующий слой, который эффективнее предотвращает окисление металла, чем оксидный слой.

В композите Al ПА4 с добавлением 3% СК частицы размером около 2-3 мкм заключены в плотное образование. На границах этих частиц наблюдаются уплощенные фрагменты размером 20-40 нм, а также удлиненные образования шириной примерно 30 нм и длиной около 100 нм.

Эти углеродистые образования аморфизированы и выступают в роли «связующего» элемента для мелких частиц алюминия. Из полученных результатов видно, что сферические частицы алюминия закапсулированы в карбоновую кислоту (рис. 7 (в)). Рост содержания углерода обусловлен тем, что стеариновая кислота, как и в случае образцов с 20% поливиниловым спиртом, адсорбирует пассивирующий агент (гексан - C_6H_{14}).

В процессе обработки алюминиевого порошка КД с использованием стеариновой кислоты частицы алюминия обволакиваются плотной органической оболочкой, что препятствует их окислению кислородом из атмосферы и сохраняет их сферическую морфологию. Это приводит к повышенной степени дисперсности частиц алюминия (рис. 7 (б)). В случае использования поливинилового спирта частицы приобретают пластинчатую (чешуйчатую) форму различной толщины. Поверхность их характеризуется неровностями и трещинами, а алюминиевые частицы агрегируются в гранулы, сохраняя пластинчатую форму с явно выраженными трещинами и имеют шероховатую структуру на поверхности (рис. 7 (а)).

Следовательно, применение модификаторов (таких как графит, поливиниловый спирт, стеариновая кислота) в ходе механохимической обработки алюминия, в соответствии с анализируемыми характеристиками, способствует изменению морфологии и структуры частиц при формировании

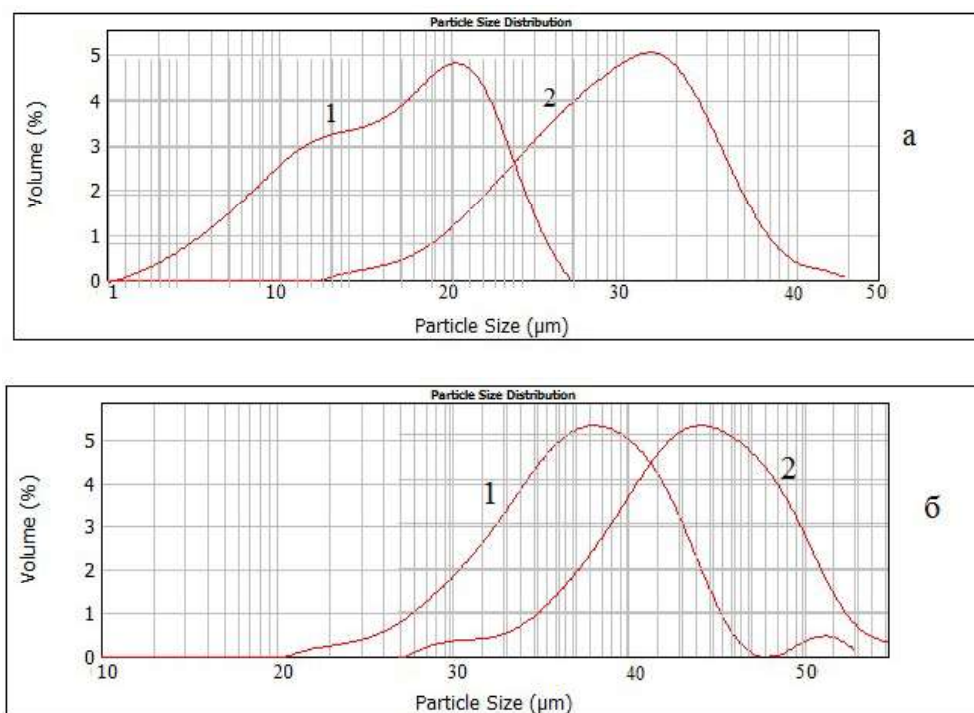


Рис. 6. Распределение частиц композитов после МХО, время 20 минут: (а) 1 – (Al ПА4+3% ПВС); 2 – (Al ПА4+20% ПВС); (б) 1 – (Al ПА4+3% СК); 2 – (Al ПА4+20% СК).

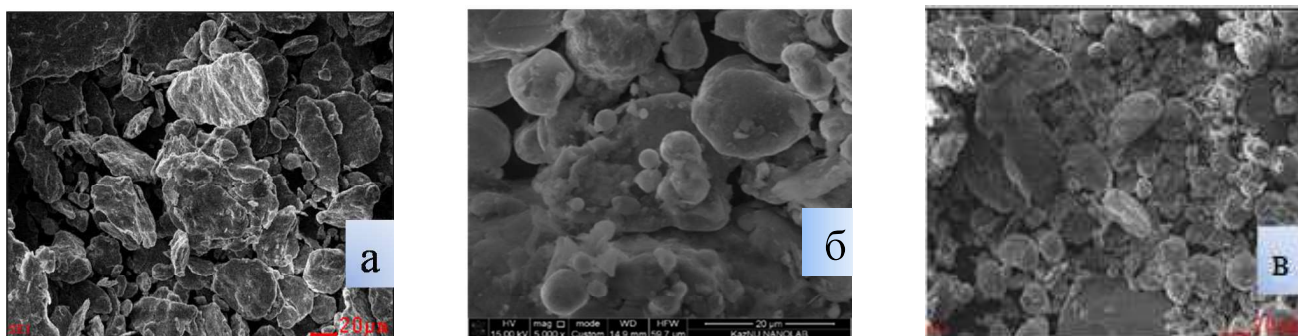


Рис. 7. Электронно-микроскопические снимки после МХО, время 20 минут: а – Al КД+20% ПВС; б – Al КД + 3% СК.; в – Al ПА4+3% СК.

компози́тов. Наблюдаемая аналогия в изменении размера частиц алюминия, модифицированного органическими добавками, является следствием того, что в формировании поверхностного слоя частиц во всех случаях определяющую роль играет углерод, полученный в результате деструкции органических соединений. Удельная поверхность увеличивается от 3,7 для исходного алюминия до 14,6 м²/г для композита с 20% поливиниловым спиртом и это коррелируется с низким значением размера кристаллитов (343 Å). Стеариновая кислота индуцирует формирование плотного капсулирующего слоя на поверхности алюминия, что обеспечивает защиту от окисления.

4. Заключение

Определены оптимальные условия механохимической обработки (МХО) алюминиевых порошков различных марок (Al КД и Al ПА4) с добавкой графита. Изучен механизм воздействия МХО на различные типы алюминиевых порошков. Выбраны наилучшие параметры МХО, марка алюминия и содержание графита в композите Al-C для дальнейших исследований. Показано, что алюминий марки ПА4 после 20 мин МХО с содержанием графита 20% обладает высокой активностью и устойчивостью к окислительному воздействию при длительном хранении. Получены алюминиевые порошки марки ПА4 с добавками поливинилового спирта и стеариновой кислоты. Определены оптимальные параметры МХО на протяжении 20 минут для алюминия с различными модификаторами (3% стеариновая кислота, 20% поливиниловый спирт), обеспечивающими формирование защитного слоя от окисления. Проведены исследования физико-химических свойств полученных порошковых материалов. Определено оптимальное количество модификатора: 3% стеариновой кислоты достаточно для капсуляции поверхности алюминиевых

порошков, в то время как дальнейшее увеличение содержания модификатора приводит к пастообразованию в мельнице. Были изучены свойства порошков после МХО, включая активность алюминия (марок ПА4 и КД), распределение размеров частиц, элементный состав (методы EDX и РФА) и размер кристаллитов.

Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан по проекту грантового финансирования AP19680387 «Механохимический синтез высокоэнергоемких порошков на основе алюминия для улучшения военно-космических технологий».

Список литературы

- [1]. Barseghyan S.A., Sakka Y. Mechanochemical activation of aluminum powder and synthesis of alumina based ceramic composites // *Ceramics International*. – 2013. – Vol. 39. – P. 8141-8146.
- [2]. Мансуров З.А., Мофа Н.Н. Механохимический синтез композиционных материалов. – Алматы: Казак университеті, 2016.
- [3]. Martinez V., Stolar T., Karadeniz B., Brekalo I., Užarević K. Advancing mechanochemical synthesis by combining milling with different energy sources // *Nature Reviews Chemistry*. – 2023. – Vol. 7. – P. 51-65.
- [4]. Dudina D.V., Bokhonov B.B. Materials Development Using High-Energy Ball Milling: A Review Dedicated to the Memory of M.A. Korchagin // *Journal of Composites Science*. – 2022. – Vol. 6(7). – P. 188.
- [5]. Emenike E.C., Iwuzor K.O., Anidiobi S.U. Heavy Metal Pollution in Aquaculture: Sources, Impacts and Mitigation Techniques // *Biological Trace Element Research*. – 2022. – Vol. 200. – P. 4476-4492.

- [6]. Adeniyi A.G., Abdulkareem S.A., Adeyanju C.A., Ighalo J.O. Recycling of Delonix regia Pods Biochar and Aluminium Filings in the Development of Thermally Conducting Hybrid Polystyrene Composites // *Journal of Polymers and the Environment*. – 2022. – Vol. 30. – P. 3150-3162.
- [7]. Bakkara A., Sadykov B., Artykbaeva A., Kamunur K., Batkal A. Kalmuratova B. Energy-Intensive Materials with Mechanically Activated Components // *ChemEngineering*. – 2023. – Vol. 7(5). – P. 97.
- [8]. Xu H., Wang H., Zhang Z., Tu H., Xiong J., Xiang X., Wei C, Mishra Y.K. High efficiency Al-based multicomponent composites for low-temperature hydrogen production and its hydrolysis mechanism // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 2023. – Vol. 48(67). – P. 26260-26275.
- [9]. Grigoreva T.F., Dudina D.V., Petrova S.A., Kovaleva S.A., Batraev I.S., Vosmerikov S.V., Devyatkina E.T., Lyakhov N.Z. Aluminum Matrix Composites Reinforced with Cu_9Al_4 Particles: Mechanochemical Synthesis and Consolidation by the Spark Plasma Sintering // *Structure, phase transformations, and diffusion*. – 2021. – Vol. 122. – P. 768-774.

References

- [1]. Barseghyan SA, Sakka Y (2013) *Ceramics International* 39: 8141-8146. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2013.03.087>
- [2]. Mansurov ZA, Moff NN (2016). Mechanochemical synthesis of composite materials. Qazaq university, Almaty, Republic of Kazakhstan.
- [3]. Martinez V, Stolar T, Karadeniz B, Brekalo I, Užarević K (2023) *Nature Reviews Chemistry* 7: 51-65. <https://doi.org/10.1038/s41570-022-00442-1>
- [4]. Dudina DV, Bokhonov BB (2022) *Journal of Composites Science* 6(7): 188. <https://doi.org/10.3390/jcs6070188>
- [5]. Emenike EC, Iwuzor KO, Anidiobi SU (2022) *Biological Trace Element Research* 200: 4476-4492. <https://doi.org/10.1007/s12011-021-03037-x>
- [6]. Adeniyi AG, Abdulkareem SA, Adeyanju CA, Ighalo JO (2022) *Journal of Polymers and the Environment* 30: 3150-3162. <https://doi.org/10.1007/s10924-022-02413-5>
- [7]. Bakkara A, Sadykov B, Artykbaeva A, Kamunur K, Batkal A, Kalmuratova B (2023) *ChemEngineering* 7(5): 97. <https://doi.org/10.3390/chemengineering7050097>
- [8]. Xu H, Wang H, Zhang Z, Tu H, Xiong J, Xiang X, Wei C, Mishra YK (2023) *International Journal of Hydrogen Energy* 48(67): 26260-26275. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.03.338>
- [9]. Grigoreva TF, Dudina DV, Petrova SA, Kovaleva SA, Batraev IS, Vosmerikov SV, Devyatkina ET, Lyakhov NZ (2021) *Structure, phase transformations, and diffusion* 122: 768-774. <https://doi.org/10.1134/S0031918X2108007X>

Mechanochemical processing of aluminum particles to obtain energy-insense materials

A.B. Artykbaeva^{1,2*}, A.E. Bakkara^{1,2}, B.S. Sadykov¹, T.B. Osserov¹, A.S. Khairullina¹, A.E. Maten^{1,2}, R.A. Zhalenov²

¹Institute of Combustion Problems, 172, Bogenbai batyr str., Almaty, Kazakhstan

²Al-Farabi Kazakh National University, 71, Al-Farabi ave., Almaty, Kazakhstan

ABSTRACT

In this paper, the use of two grades of powdered aluminum of various dispersities is investigated: coarse-grained aluminum (CD) with particle sizes of more than 200 microns and Al PA4 with particle sizes from 20 to 63 microns, as components for energy-intensive materials. The plasticity of aluminum particles makes it difficult to mechanically grind them, so modifiers such as stearic acid, graphite and polyvinyl alcohol have been added to facilitate the dispersion process. After mechanochemical treatment of Al PA4 with 20% graphite, the particle size of the resulting powder was less than 20 microns. With the addition of 3% PVA, the average particle size was 16.1 microns, and with the use of 20% PVA increased to 30.5 microns. The specific surface area after mechanical action also increased to 4,976 and 14,648 m²/g, respectively. An increase in the content of graphite and polyvinyl alcohol in composites leads to an increase in the activity of aluminum, while the content of stearic acid above 3% causes a decrease in the increase in activity. Thus, the mechanochemical treatment of aluminum powders using various organic modifiers makes it possible to significantly change their morphological and structural properties. The results obtained open up new prospects for the creation of energy-intensive materials with improved characteristics that can be widely used in various fields, including energy and fuel technologies.

Keywords: modifier, aluminum, stearic acid, polyvinyl alcohol, graphite, mechanochemical treatment

Алюминий бөлшектерін энергиялық сыйымды материалдар алу үшін механохимиялық өңдеу

А.Б. Артықбаева^{1,2*}, А.Е. Баққара^{1,2}, Б.С. Садыков¹,
Т.Б. Осеров¹, А.С. Хайруллина¹, А.Е. Матен^{1,2},
Р.А. Жаленов²

¹Жану проблемалары институты, Бөгенбай батыр к-сі, 172, Алматы, Қазақстан

²Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, әл-Фараби даңғылы, 71, Алматы, Қазақстан

АННОТАЦИЯ

Бұл жұмыста біз энергияны көп қажет ететін материалдардың құрамдас бөліктері ретінде әртүрлі дисперсиялы ұнтақ алюминийдің екі со-ртын қолдануды зерттедік: бөлшектерінің мөл-шері 200 мкм-ден асатын ірі алюминий және бөл-шектерінің өлшемдері 20-дан 63 мкм-ге дейінгі АІ ПА4. Алюминий бөлшектерінің пластикалық қасиеті оларды механикалық түрде ұсақтауды қиын-датады, сондықтан дисперсия процесін жеңілдету үшін стеарин қышқылы, графит және поливинил спирті сияқты модификаторлар қосылды. АІ ПА4 20% графитпен механикалық химиялық өңдеуден кейін алынған ұнтақтың бөлшектерінің мөлшері 20 мкм-ден аз болды. 3% ПВС қосқанда бөлшек-тердің орташа мөлшері 16,1 мкм болды, ал 20% ПВС қолданғанда ол 30,5 мкм дейін өсті. Меха-никалық әсерден кейінгі меншікті бетінің ауданы да сәйкесінше 4,976 және 14,648 м²/г дейін өсті. Композиттердегі графит пен поливинил спиртінің мөлшерінің артуы алюминийдің белсенділігінің артуына, ал стеарин қышқылының 3%-дан жоға-ры болуы белсенділіктің жоғарылауының төмен-деуіне әкеледі. Осылайша, алюминий ұнтақтарын әртүрлі органикалық модификаторларды қолдану арқылы механикалық химиялық өңдеу олардың морфологиялық және құрылымдық қасиеттерін айтарлықтай өзгертуі мүмкін. Алынған нәтиже-лер әртүрлі салаларда, соның ішінде энергетика-лық және отын технологияларында кеңінен қол-даныла алатын жақсартылған сипаттамалары бар энергияны көп қажет ететін материалдарды жаса-удың жаңа перспективаларын ашады.

Түйін сөздер: модификатор, алюминий, стеа-рин қышқылы, поливинил спирті, графит, меха-никалық химиялық өңдеу