

ИЗУЧЕНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОРОШКА ГИДРОКСИДА АЛЮМИНИЯ ПОЛУЧЕННОГО ХИМИЧЕСКИМ ДИСПЕРГИРОВАНИЕМ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА (AL-ZN-MG-CU)

В.В. Гунидин¹, аспирант

Научный руководитель: А.Ю. Омаров², канд. техн. наук, доцент

¹Московский политехнический университет

²Российский университет транспорта
(Россия, г. Москва)

DOI:10.24412/2500-1000-2024-1-2-137-141

Аннотация. Рассматривается возможность получения новейшего керамического материала из алюминиевого сплава (Al-Zn-Mg-Cu) путем химического диспергирования стружки и спекания полученного порошка гидроксида алюминия. Изучены реологические свойства полученного порошка статическим и динамическим методом.

Ключевые слова: химическое диспергирование, гидроксид алюминия, реологические свойства, отмывка.

Поиск новых материалов с улучшенными, а иногда и совершенно новыми эксплуатационными свойствами обусловлен объективными потребностями развития различных отраслей техники. Растущие требования к ассортименту и качеству материалов приводят к пересмотру традиционных методов и предлагают новые альтернативные подходы их получения. В последние десятилетия было разработано много новых типов материалов для улучшения уже существующих и создания совершенно новых функциональных материалов, которые могут использоваться в условиях повышенных эксплуатационных требований.

Важная составляющая современного материаловедения – это разработка новых порошков для производства керамических материалов с высокими служебными свойствами. Как альтернативный метод производства исходных порошков, можно отнести метод химического диспергирования различных алюминиевых сплавов [1, 2]. Химическое диспергирование сплавов алюминия позволяет получать наноструктурированный легированный порошок гидроксида алюминия, которые в процессе последующей термообработки способствует образованию специальных фаз. Эти фазы придают керамикам уникальные свойства, зависящие от вида легирующего

элемента в исходном алюминиевом сплаве [3].

В данной работе была поставлена задача – изучение нового порошка гидроксида алюминия, полученного путем химического диспергирования алюминиевого сплава (Al-Zn-Mg-Cu). Решение этой задачи также позволяет утилизировать цинкосодержащую стружку и получить керамические материалы с необходимыми функциональными свойствами.

Изучение реологических свойства порошка статическим методом

Химическое диспергирование алюминиевого сплава (Al-Zn-Mg-Cu) осуществляли путем его обработки 20 %-ным водным раствором едкого натра. Полученный осадок промывали дистиллированной водой и фильтровали путем вакуумной фильтрации [4].

Для снижения уровня pH и стабилизации раствора, а также снижения вредных связанных ионов Na^+ было необходимо отмыть осадок [4]. Конечное значение pH-среды при отмывке порошка, полученного в результате химического диспергирования алюминиевого сплава (Al-Zn-Mg-Cu), равно 8,32 и достигнуто на 19 стадии декантации [4].

Отмытый путем декантации и высушенный (при 60°C) осадок мелкой фракции легко растирается пестиком в ступке с

целью получения сыпучего порошкового продукта. Данный порошок исследовали на реологические свойства.

Реологические свойства порошка Al-Zn-Mg-Cu статическим методом, исследовали следующие параметры: насыпная плотность при свободной засыпке и после утряски, критерий текучести и уплотняемости, степень утряски. Результаты приведены в таблице 1.

Измерительное оборудование, предназначенное для определения статической насыпной плотности, включает в себя следующие компоненты: консольные стойки, воронка, плита-подставка и емкость. Воронка и емкость выполнены из немагнитного металла (стали 12Х18Н9Т), которая обладает устойчивостью к коррозии и достаточной прочностью, чтобы противостоять износу и деформации.

Планетарная мельница использовалась для дезагломерации порошка с использованием изопропилового спирта. Затем порошок высушивался в фарфоровой чаше при температуре $100 \pm 5^\circ\text{C}$ до достижения постоянной массы. После этого он охлаждался в эксикаторе.

Определение насыпной плотности основано на измерении массы определенного количества порошка, который полностью заполняет емкость известного объема в свободно насыпанном состоянии. Для достижения свободно насыпанного состояния, емкость заполняется с использованием воронки, которая находится над ней на определенном расстоянии. Насыпная плотность представляет собой отношение массы к объему.

Оценка реологических свойств порошка проводилась путем определения времени, за которое заданное количество порошка (28 см^3) проходит через отверстие диаметром 5 мм в стальной воронке. Кроме того, были рассчитаны значения насыпной плотности порошка до и после утряски (ρ_1 и ρ_2 соответственно). Эти параметры могут быть использованы для оценки текучести и уплотняемости порошков.

Критерий текучести рассматривается как отношение $K = \rho_1/\rho_2$ (относительные единицы), значение которого не может превышать 1. Чем выше показатель K, тем плотнее укладываются частицы порошка при засыпке в емкость под действием собственного веса благодаря хорошей текучести.

Разница $\delta = \rho_2 - \rho_1$ является критерием структурной уплотняемости. Она определяет физическую способность частиц данного порошка размещаться без деформирования наиболее компактно в положении устойчивого равновесия друг относительно друга в ограниченном объеме. Значение δ выражает прирост массы на единицу объема в результате утряски. Чем меньше δ , тем выше уплотняемость порошка (идеальный случай структурной уплотняемости соответствует δ , равной 0, когда после утряски свободно насыпанного порошка не наблюдается прироста его насыпной плотности и $\rho_2 = \rho_1$).

Степень утряски $S = \delta / \rho_1 \times 100$ (%) также описывает структурную уплотняемость порошка, при этом является относительной характеристикой, поэтому тенденции изменения показателей δ и S могут не совпадать.

Таблица 1. Реологические свойства порошков, полученных химическим диспергированием алюминиевых сплавов, измеренные статическими методами

Исходный сплав	Насыпная плотность		Критерий текучести $K = \rho_1 / \rho_2$, отн. ед.	Критерий уплотняемости $\delta = \rho_2 - \rho_1$, г/см ³	Степень утряски $S = \delta / \rho_1 * 100$, %
	Свободная засыпка, ρ_1 , г/см ³	Засыпка после утряски, ρ_2 , г/см ³			
(Al-Zn-Mg-Cu)	1,25	1,60	0,78	0,35	28,1

Исследование реологических свойств порошка динамическим методом

Для данного этапа исследований применяли реометр порошков Revolution и со-

ответствующую методику [5]. Проводили пробоподготовку согласно ГОСТ 25389-93 «Глинозем. Отбор и подготовка проб» и также готовили пробы в соответствии с

ГОСТ 25389-93 «Глинозем. Метод подготовки пробы к испытанию». Принцип действия реометра порошков Revolution заключается во вращении барабана с порошком с определенной скоростью. Это позволяет измерить свойства течения порошка от времени. Порошок пересыпается внутри барабана с прозрачными торцами, сквозь которые он просвечивается мощной лампой. Цифровая камера с заданной частотой передает изображения для анализа в электронный измерительный блок. Прибор показывает не только угол откоса, плотность после свободной засыпки и после ее утряски и т. д., но и энергию порошка до и после схода лавины, а также энергию покоя. Лавиной называют в данном случае порцию порошка, которая обрушивается с верхней части засыпки внутри вращающегося горизонтального барабана. Такие характеристики нужны для того, чтобы понять, сколько необходимо приложить энергии, например, в виде вибрации, чтобы порошок вернуть в исходное текучее состояние после слеживания. Эти исследования используют, чтобы проверить стабильность порошка под воздействием различных факторов (температура, давление, влажность). Прибор автоматически производит 150 измерений, что позволяет накопить статистически достоверный результат за значительно более короткое время, чем это принципиально возможно

при измерении статическим методом. При измерении показателей подвижности порошков задавали частоту вращения барабана (0,3 об/мин) и время работы (60 с). Суммарный спектр лавины показывает сравнение текучести порошков: чем ниже энергия лавины и время, тем лучше порошок течет. Средняя энергия лавины – это энергия, высвободившаяся при сходе лавины порошка. Она рассчитывается вычитанием энергии порошка после схода лавины (энергия покоя) из энергии порошка до схода лавины (энергия схода). Средний угол схода лавин рассчитывается на основе статистики 150 лавин, программа набирает статистику максимальных углов схода лавин при максимальной энергии и рассчитывает средний угол схода лавин. Применение динамического метода измерения реологических свойств порошков с разным содержанием связующего, различной влажностью, по различным режимам грануляции и т. п. позволяет сравнивать вклад технологических факторов как в уровень рабочих свойств порошков, так и в стабильность этих свойств, что весьма важно, как при разработке новых технологий, так и в условиях серийного производства.

Произвели по 10 параллельных измерений каждого параметра. Результаты после нахождения средних значений приведены в таблице 2.

Таблица 2. Реологические свойства порошка Al-Zn-Mg-Cu, динамическим методом

Avalanche Energy	Энергия лавины, кДж/кг	12,14
Energy Std Dev	Энергия стандартной девиации, кДж/кг	7,75
Break Energy	Энергия перед сходом лавины, кДж/кг	52,17
Break Energy SD	Энергия стандартной девиации, кДж/кг	7,04
Avalanche Angle	Угол перед сходом лавины	45,87
Rest Angle	Угол после схода лавины	41,49
Dynamic Density	Динамическая плотность, г/см ³	1,26
Surface Fractal	Часть поверхности порошка, свидетельствующая о шероховатости	1,88

Порошок имеет высокую величину энергии лавины (Avalanche Energy) 12,14 кДж/кг. Такой показатель связан с размером частиц, который колеблется в диапазоне 5-15 мкм, а в процессе течения порошок начинает агломерироваться и слипаться, образуя более крупные частицы. Энергия стандартной девиации по-

рошка составляет 7,75 кДж/кг. Максимальная энергия порошка перед сходом лавины составляет 52,17 кДж/кг. Максимальный угол схода лавины почти 46 градусов. Угол порошков при минимальной энергии после схода лавины составил около 41 градуса.

Динамическая плотность порошка составляет $1,26 \text{ г/см}^3$, которая сопоставима с плотностью при свободной засыпке при статическом измерении.

Выводы

Полученные результаты исследования реологических свойств порошка полученного химическим диспергированием алюминиевого сплава Al-Zn-Mg-Cu, могут повлиять на технологические операции при производстве керамических материалов. Например: при формовании заготовки полусухим прессованием, можно снизить значение прессования с 200 Мпа до 100 Мпа, что связано с хорошей уплотняемостью порошка, в результате можно будет снизить время прессования и увеличит ре-

сурс оборудования, также к преимуществу порошка можно отнести шероховатость поверхности, которая связано с коэффициентом трения между частицами, за счет чего, он хорошо агломерируется и можно будет убрать дополнительную технологическую стадию «приготовление шихты» ввода временного технологического связующего. Данная стадия является неотъемлемой частью при производстве керамических материалов, которая увиливает время производства на 15%.

Полученный порошок представляет очень высокий интерес и имеет перспективное направление в области создания новых керамических материалов с высокими физико-механическими свойствами.

Библиографический список

1. Шляпин А.Д., Тарасовский В.П., Омаров А.Ю., Никольский В.С., Курбатова И.А. Исследование структуры и фазового состава алюмооксидных порошков, полученных методом химического диспергирования алюминиевого сплава с различным содержанием магния // Стекло и керамика. – 2013. – №12. – С. 17-20.
2. Шляпин А.Д., Иванов Д.А., Омаров А.Ю. Свойства гидроксида алюминия, получаемого при производстве водорода // Машиностроение и инженерное образование. – 2011. – №2. – С. 48-51.
3. Шляпин А.Д., Омаров А.Ю., Хайри А.Х., Трифонов Ю.Г. Изучение порошков гидроксида алюминия, полученных методом химического диспергирования алюминия и его сплавов // Новые огнеупоры. – 2012. – № 10. – С. 27-32.
4. Гунидин В.В., Омаров А.Ю. изучение свойств порошка гидроксида алюминия полученного химическим диспергированием алюминиевого сплава (Al-Zn-Mg-Cu) // Вопросы технических и физико-математических наук в свете современных исследований: сб. ст. по матер. LXX междунар. науч.-практ. конф. – Новосибирск: СибАК, 2023. – № 12 (61). – С. 76-81.
5. Тарасовский В.П., Шляпин А.Д., Омаров А.Ю., Васин А.А., Кормилицин М.Н. Сравнительный анализ показателей подвижности и уплотняемости шлифпорошков F240 разных производителей // Новые огнеупоры. – 2018. – № 9. – С. 61-65.

STUDY OF RHEOLOGICAL PROPERTIES OF ALUMINUM HYDROXIDE POWDER OBTAINED BY CHEMICAL DISPERSION OF ALUMINUM ALLOY (AL-ZN-MG-CU)

V.V. Guanidin¹, *Postgraduate Student*

Supervisor: A.Y. Omarov², *Candidate of Technical Sciences, Associate Professor*

¹**Moscow Polytechnic University**

²**Russian University of Transport**

(Russia, Moscow)

***Abstract.** The possibility of obtaining the latest ceramic material from aluminum alloy (Al-Zn-Mg-Cu) by chemical dispersion of chips and sintering of the resulting aluminum hydroxide powder is being considered. The rheological properties of the obtained powder have been studied by static and dynamic methods.*

***Keywords:** chemical dispersion, aluminum hydroxide, rheological properties, washing.*