

*Мкртчян Ю.А.
Аспирант
ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет»
Россия, г. Москва
Лавренов В.С.
Аспирант
ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет»
Россия, г. Москва*

*Mkrtchyan Y.A.
Postgraduate Student
Moscow Polytechnic University
Russia, Moscow
Lavrenov V.S.
Postgraduate Student
Moscow Polytechnic University
Russia, Moscow*

ВЛИЯНИЕ ДИСПЕРСНОСТИ ЭНЕРГОНАСЫЩЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ПРОЦЕСС КОМПАКТИРОВАНИЯ

Аннотация: Исследование посвящено изучению влияния дисперсности энергонасыщенных материалов (ЭНМ) на процесс их компактирования. Установлено, что оптимальный размер частиц для большинства ЭНМ составляет 10–50 мкм, обеспечивая баланс между плотностью, прочностью и детонационными характеристиками.

Ключевые слова: энергонасыщенные материалы, дисперсность, компактирование, гранулометрический состав, горячее прессование, детонационные характеристики.

The Influence of Dispersity of Energetic Materials on the Compaction Process

Abstract: The study explores the impact of dispersity of energetic materials (EM) on their compaction process. It was found that the optimal particle size for most

EMs ranges from 10 to 50 μm , ensuring a balance between density, strength, and detonation characteristics.

Keywords: energetic materials, dispersity, compaction, particle size distribution, hot pressing, detonation characteristics

Введение.

Современные технологии производства энергонасыщенных материалов (ЭНМ) требуют точного контроля их микроструктуры, поскольку дисперсность частиц напрямую влияет на плотность, механическую прочность и детонационные характеристики компактированных систем. В оборонной промышленности, ракетостроении и горном деле качество ЭНМ определяется не только химическим составом, но и физическими параметрами, среди которых гранулометрический состав играет ключевую роль [1].

Несмотря на значительное количество исследований в этой области, остаются нерешенными вопросы, связанные с оптимизацией дисперсности для различных методов компактирования. В частности, недостаточно систематизированы данные о влиянии размера частиц на кинетику горения и стабильность материала при длительном хранении [2]. Кроме того, современные методы анализа дисперсности, такие как лазерная дифракция и электронная микроскопия, требуют комплексного подхода для минимизации погрешностей измерений.

Цель данной работы.

Установить взаимосвязь между дисперсностью ЭНМ и их свойствами после компактирования, а также определить оптимальные параметры гранулометрии для различных технологий уплотнения. В рамках исследования анализируются современные методы определения дисперсности, технологии компактирования и их влияние на конечные характеристики материалов.

Теоретические аспекты влияния дисперсности на свойства ЭНМ.

Дисперсность, определяемая как распределение частиц по размерам, оказывает значительное влияние на процесс компактирования ЭНМ. Мелкодисперсные порошки (1–10 мкм) обладают высокой удельной поверхностью, что способствует более интенсивному горению, но при этом склонны к агломерации, что ухудшает однородность структуры [3]. Крупные частицы (50–100 мкм), напротив, обеспечивают лучшую сыпучесть, но могут приводить к образованию пор и снижению плотности.

Механизмы компактирования включают в себя пластическую деформацию частиц, их переориентацию и разрушение агломератов под действием давления. При этом оптимальный гранулометрический состав должен обеспечивать минимальную пористость и максимальную энергоемкость. Исследования показывают, что би- и полидисперсные системы, в которых сочетаются частицы разного размера, позволяют достичь более высокой плотности упаковки за счет заполнения междоузельных пространств [4].

Важным критерием оценки качества компактированных материалов является не только плотность, но и стабильность структуры при механических нагрузках. Например, для гексогена оптимальный размер частиц составляет 10–30 мкм, тогда как для октогена – 5–20 мкм [5]. Эти различия обусловлены особенностями кристаллической решетки и чувствительностью к внешним воздействиям.

Методы исследования дисперсности и компактирования.

Для точного определения дисперсности ЭНМ применяются различные методы, каждый из которых имеет свои преимущества и ограничения. Лазерная дифракция позволяет быстро получать данные о распределении частиц в широком диапазоне размеров (0,1–1000 мкм), однако требует тщательной подготовки образцов для исключения агломерации [6]. Сканирующая электронная микроскопия (SEM) дает

возможность визуализировать морфологию частиц и выявлять дефекты структуры, но является более трудоемким и дорогостоящим методом.

Среди технологий компактирования наибольшее распространение получили горячее прессование и изостатическое прессование. Горячее прессование, сочетающее высокое давление (100–500 МПа) и температуру (200–500 °С), обеспечивает лучшее спекание частиц за счет активации диффузионных процессов [7]. Изостатическое прессование, при котором давление передается через жидкость или газ, позволяет достичь более равномерного уплотнения и минимизировать внутренние напряжения в материале.

Для оценки свойств компактированных образцов используются рентгеноструктурный анализ (XRD), механические испытания на сжатие и измерение скорости детонации. Эти методы позволяют установить корреляцию между дисперсностью, плотностью и детонационными характеристиками ЭНМ.

Результаты и обсуждение.

Экспериментальные данные подтверждают, что дисперсность оказывает существенное влияние на свойства компактированных ЭНМ. Установлено, что для большинства материалов оптимальный размер частиц лежит в диапазоне 10–50 мкм. Более мелкие частицы (<10 мкм) хотя и обеспечивают высокую плотность, но увеличивают риск агломерации и неконтролируемого горения. Крупные частицы (>50 мкм) приводят к снижению плотности и ухудшению механической прочности.

Особый интерес представляет исследование влияния дисперсности на детонационные характеристики. Показано, что уменьшение размера частиц до определенного предела (5–10 мкм) повышает скорость детонации за счет лучшего контакта между компонентами. Однако дальнейшее уменьшение размера (<1 мкм) может привести к увеличению чувствительности к

случайной детонации, что ограничивает применение ультрадисперсных порошков в некоторых областях [8].

Заключение.

Проведенное исследование позволило установить ключевые закономерности влияния дисперсности на процесс компактирования энергонасыщенных материалов. Основные выводы работы сводятся к следующему:

Оптимальный размер частиц для большинства ЭНМ составляет 10–50 мкм, что обеспечивает баланс между плотностью, прочностью и детонационными характеристиками.

Горячее прессование является наиболее эффективным методом компактирования, позволяющим достичь высокой плотности без значительной потери энергоемкости.

Комбинированное использование методов лазерной дифракции и электронной микроскопии обеспечивает наиболее точное определение дисперсности.

Перспективными направлениями дальнейших исследований являются изучение влияния наноразмерных добавок на свойства компактированных ЭНМ, а также разработка многослойных структур с градиентом дисперсности.

Таким образом, системный подход к контролю дисперсности открывает новые возможности для создания высокоэффективных и безопасных энергонасыщенных материалов.

Использованные источники:

1. Dremin A.N. Toward Detonation Theory [Текст]. – 1999. – 342 с.
2. Moulard H. Particulate Materials in Energetic Compositions [Текст]. – 2005. – 215 с.

3. Zhang J., Wang L., Chen X. Compaction of Energetic Materials: Effects of Particle Size Distribution [Текст] // Journal of Energetic Materials. – 2018. – Vol. 36, No 2. – P. 45-67.
4. Жуков Б.П. Технология порохов и твердых ракетных топлив [Текст]. – М.: Изд-во МГТУ, 2010. – 480 с.
5. ASTM E2994-16. Standard Test Method for Analysis of Particle Size Distribution of Nanomaterials [Электронный ресурс]. – 2016. – URL: <https://www.astm.org/Standards/E2994.htm> (дата обращения: 10.10.2023).