

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Северный (Арктический) федеральный университет
имени М.В. Ломоносова»

В.Е. Данилов, М.В. Морозова, А.М. Айзенштадт

**УЛЬТРАДИСПЕРСНЫЕ И НАНОРАЗМЕРНЫЕ ПОРОШКИ:
ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЧАСТИЦ, ЭНЕРГИЯ ПОВЕРХНОСТИ,
СМАЧИВАНИЕ**

Учебное пособие

Архангельск
САФУ
2020

УДК 544.723
ББК 30.3
Д18

*Рекомендовано к изданию учебно-методическим советом
Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова*

Рецензенты:

В.В. Строкова, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой
материаловедения и технологии материалов Белгородского государственного
технологического университета им. В.Г. Шухова, советник РААСН;
А.С. Князев, доктор химических наук, директор ООО «Инжиниринговый
химико-технологический центр», г. Томск

Данилов, В.Е.

Д18 Ультрадисперсные и наноразмерные порошки: взаимодействие частиц,
энергия поверхности, смачивание [Электронный ресурс]: учебное пособие /
В.Е. Данилов, М.В. Морозова, А.М. Айзенштадт; Сев. (Арктич.) федер. ун-т
им. М.В. Ломоносова. – Электронные текстовые данные. – Архангельск:
САФУ, 2020. – 95 с.

ISBN 978-5-261-01467-6

Рассмотрены основные теоретические положения явлений и процессов,
протекающих в тонкодисперсных системах. Представлены примеры проекти-
рования органоминеральных порошковых композиций, а также уделено внима-
ние вопросам физикохимии взаимодействия ультра- и наноразмерных частиц.

Предназначено для магистрантов, аспирантов и молодых ученых, занима-
ющихся исследованиями в области материаловедения, физической и коллоид-
ной химии и интересующихся вопросами физикохимии взаимодействия ультра-
и наноразмерных частиц.

УДК 544.723
ББК 30.3

Издательский дом им. В.Н. Булатова САФУ
163060, г. Архангельск, ул. Урицкого, д. 56

ISBN 978-5-261-01467-6

© Данилов В.Е., Морозова М.В.,
Айзенштадт А.М., 2020
© Северный (Арктический) федеральный
университет им. М.В. Ломоносова, 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1. УСТОЙЧИВОСТЬ НАНОДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ	7
1.1. Факторы устойчивости	7
1.2. Теория ДЛФО	7
1.3. Потенциал притяжения Ван-дер-Ваальса	9
2. РАСЧЕТ СЭП ПО УГЛУ СМАЧИВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ	22
2.1. Модели, учитывающие межфазное натяжение	23
2.2. Краевой угол и поверхностная энергия	26
2.3. Метод Зисмана	28
2.4. Уравнение состояния	31
2.5. Метод Фоукса	31
2.6. Расширенный метод Фоукса	33
2.7. Метод Оунса, Вендта, Рабеля и Къельбле	34
2.8. Метод Ву	37
2.9. Метод Шульца	39
2.10. Кислотно-основный метод по Оссу и Гуду	42
3. ПРЕДСКАЗАНИЕ СМАЧИВАНИЯ: КРИВАЯ СМАЧИВАНИЯ	44
3.1. Статический краевой угол	45
3.2. Динамический краевой угол	46
3.3. Наступающий угол	46
3.4. Отступающий угол	47
4. ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УГЛА СМАЧИВАНИЯ ДЛЯ ВЫСОКОДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ	48
4.1. Требования к используемой рабочей жидкости	49
4.2. Требования к условиям проведения испытаний (состояние окружающей, искусственно создаваемой или моделируемой среды и т.п.)	49
4.3. Требования к подготовке объекта испытаний	49
4.4. Требования к обслуживанию объекта испытаний	50
4.5. Требования к порядку работы на объекте испытаний по завершении испытаний	51
4.6. Ограничения и другие указания, которые необходимо выполнять на всех или отдельных режимах испытаний	51
4.7. Методика измерения статических краевых углов на прямом предметном столе	51
4.8. Методика измерения ассиметричных статических краевых углов на наклонном предметном столе	53

5. МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ФОРМЫ КАПЛИ.....	54
5.1. Тангентальные методы.....	54
5.2. Метод высоты-ширины.....	54
5.3. Метод сегмента (круга).....	55
5.4. Метод Юнга-Лапласа.....	55
6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРАЕВЫХ УГЛОВ СМАЧИВАНИЯ ПОРОШКОВ МЕТОДОМ «SESSILE DROP».....	56
7. ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДИСПЕРСИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ СОСТАВА БЕСЦЕМЕНТНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО ВЯЖУЩЕГО	64
8. ДИСПЕРСНОСТЬ И УДЕЛЬНАЯ ПОВЕРХНОСТЬ ПОРОШКОВ.....	68
9. ПОВЕРХНОСТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ В ПОРОШКАХ.....	73
10. ДЗЕТА-ПОТЕНЦИАЛ ПОВЕРХНОСТИ ПОРОШКОВ.....	76
10.1. Электрические свойства нанодисперсных систем.....	76
10.2 Влияние электролитов на электрокинетический потенциал.....	80
11 АДСОРБЦИЯ НА ПОРОШКАХ.....	81
11.1. Теоретические основы метода сорбции газов.....	81
11.2. Определение удельной поверхности из изотерм в модели Брунауэра– Эммета–Теллера.....	89
11.3. Сравнение одно- и многоточечного вариантов.....	92
11.4. Определение пористости.....	94
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	94

ВВЕДЕНИЕ

Минеральные порошки представляют собой дисперсные системы, образующиеся в процессе дробления и измельчения горных пород или отходов промышленных производств, на поверхность которых затем могут наноситься дополнительные вещества, изменяющие их физико-химические свойства. Размер частиц порошков лежит, как правило, в пределах от 0,1 до 1000 мкм. Применение данных материалов (в качестве сухих строительных смесей, компонентов вяжущего, микронаполнителей, активных добавок и т.д.) является основой практически всех отраслей строительства.

Порошковые материалы должны составлять отдельный раздел материаловедения. Из областей применения ультрадисперсных и наноразмерных порошков можно выделить их использование в качестве наполнителей в суспензиях и композитных материалах. Тонкодисперсные порошки улучшают характеристики материалов, применяемых в микроэлектронике, при получении смазок, абразивов, мембран, катализаторов, адсорбентов. Порошки используются для получения различных функциональных покрытий: противозносных, ресурсосберегающих, гидрофобных, самоочищающихся и пр. Эти покрытия расширяют ресурсные возможности техники, конструкций, изделий, применяемых в различных отраслях (в машиностроении и строительстве, на транспорте, в медицине и быту и т.д.). Нанодисперсные порошки обеспечивают создание новых типов композитных наноматериалов с возможностями широкого практического применения.

Свойства частиц порошка, а также материалов, полученных с их применением, зависят не только от химического состава, но и от размеров (формы) частиц. В наноразмерной области соотношение поверхностных и объемных атомов частиц становится соизмеримым, в отличие от микро- и макрочастиц, а потому свойства нанопорошков могут значительно отличаться от их макродисперсных аналогов. Поэтому материаловедческая схема при рассмотрении свойств и характеристик порошковых материалов должна состоять из позиций «состав – структура – дисперсность – свойства». Здесь немаловажно напомнить, что под ультрадисперсными понимают порошки, имеющие микронные и более мелкие размеры частиц. Нанодисперсные («нано» в переводе с греческого – карлик) порошки имеют размеры 10^{-9} м и в создании используются материалы, состоящих или имеющих фрагменты размером от 1 до 100 нм. Вместе с тем свойства порошковых материалов формируются прежде всего поверхностными явлениями, интенсивность протекания которых определяется дисперсионным взаимодействием составляющих частиц. Кроме того, взаимодействие поверхности порошков с окружающей средой обя-

зательно будет связано с начальным этапом этого взаимодействия – смачиванием межфазной поверхности. Поэтому для большинства физико-химических процессов в порошковых материалах межфазная поверхность играет ключевую роль. Без выяснения сути поверхностных явлений в таких высокодисперсных системах невозможно эффективное использование наноразмерных эффектов при реализации порошковых технологий. В данном учебном пособии даны основные теоретические положения энергетики дисперсионного взаимодействия между частицами ультра- и нанодисперсных порошковых материалов, рассмотрены теоретические вопросы и экспериментальные приемы определения термодинамических и гидрофильно-гидрофобных характеристик. Учебное пособие в основном связано с изучением термодинамики поверхностных явлений и, на наш взгляд, позволит студентам-магистрантам и аспирантам познакомиться с современным состоянием исследований поверхностей твердых тел.