

ОТЗЫВ

**на автореферат диссертации Болтачева Грзя Шамилевича
«Особенности механических свойств наноразмерных порошков и их влияние на
процессы магнитно-импульсного компактирования»,
представленной на соискание учёной степени доктора физико-математических наук по
специальностям 01.04.07 – физика конденсированного состояния,
01.04.13 – электрофизика, электрофизические установки**

Диссертационная работа Болтачева Г.Ш. относится к динамично развивающемуся научному направлению создания перспективных современных материалов на основе наноразмерных порошков, и в частности, посвящена теоретическому и экспериментальному решению актуальных задач компактирования и консолидации оксидных нанопорошков с применением вариантов метода магнитно-импульсного прессования, который успешно развивается известной научной школой УрО РАН в течение последних десятилетий.

К несомненным достоинствам работы относятся всесторонний теоретический и модельный анализ процессов компактирования нанопорошков с учётом специфических эффектов, связанных с нанометровым масштабом размеров частиц: межчастичных взаимодействий, разрушения контактов прочных межчастичных связей (характерных для агломератов наночастиц), дисперсионного притяжения микрочастиц, а также последовательное сопоставление полученных результатов с экспериментальными данными.

При построении дискретных моделей прессования нанопорошков методом гранулярной динамики автором обосновано влияние различных физических эффектов и свойств порошков на процессы их консолидации. Вполне заслуженное внимание к упругой составляющей деформации ансамбля наночастиц, которое уделяется в работе, позволило корректно обосновать допущения, связанные с размерами частиц модели и размерами представительной модельной ячейки, а также выявить актуальные диапазоны режимов прессования, в которых влияние размерных эффектов является значимым.

Применённый автором модельно-теоретический подход позволил не только провести корректное описание и оптимизацию традиционных схем магнитно-импульсного прессования, но и обосновать применение и получить относительно простой математический аппарат описания процессов и оптимизации режимов нового варианта использования магнитно-импульсных прессов в ударно-волновом режиме. Корректно поставленные эксперименты подтвердили полученный теоретический результат, а его практическая значимость представляется высокой.

Следует также отметить фундаментальный характер проведённых теоретических исследований, которые позволили автору установить основные причины известных размерных эффектов в процессах консолидации нанопорошков различными способами, описать их поведение в сложных условиях внешнего физического воздействия различной природы.

Важным подтверждением актуальности результатов работы является их широкая апробация на профильных международных и российских конференциях, опубликование в ведущих международных и российских журналах физического профиля с высоким импакт-фактором, в зарубежной монографии.

Однако, из автореферата остались неясными следующие вопросы:

1. В работе никак не учитывается один из важнейших параметров для компактирования сухих порошков – неравномерность распределения плотности по объёму прессовки, которая зависит от сил пристенного трения и существенно влияет на процесс консолидации, особенно нанопорошков. На наш взгляд, игнорирование этого параметра может несколько снизить применимость разработанных моделей компактирования. Проводилась ли сравнительная оценка значимости обнаруженных эффектов и эффектов влияния пристенного трения для различных соотношений размеров прессовок?
2. Автором «установлен интервал значений <безразмерного комплекса параметров>, соответствующий резонансным условиям прессования». Что понимается под «резонансными условиями прессования» для магнитно-импульсного прессования, «ударно-волнового режима»?
3. Как релаксируют напряжения в сухом нанопорошке в процессе или после магнитно-импульсного прессования, ударно-волнового режима одноосного пресса?
4. На стр. 8 указывается: «установлено, что дисперсионные притяжения являются основной причиной размерных эффектов в процессах компактирования нанопорошков», но на стр. 15 утверждается, что на расстояниях порядка 100 нм (т.е. сопоставимых с размерами наночастиц) оправдано «пренебрежение этим эффектом при моделировании процессов компактирования сухих нанопорошков».
5. В работе проведён теоретический учёт влияния основных факторов процесса компактирования порошков на магнитно-импульсном прессе, в том числе, параметров трения его составных частей (стр. 24) с различными коэффициентами трения для различных порошков. Однако различные порошки не могут оказывать различное влияние на силы трения между неформообразующими поверхностями. По какой причине в приведённом теоретическом описании вместо этого не приняты силы трения различных прессуемых материалов о формообразующие поверхности, коэффициенты которых вполне согласуются с приведёнными значениями μ_s , а их использование в качестве усреднённых значений не противоречит физике процесса?
6. В работе проводится всесторонняя оценка влияния размеров частиц на процессы их упаковки в различных условиях. При этом в качестве объектов сопоставления выбраны системы с относительно небольшой (менее полпорядка) разницей в размерах частиц, что может привести к не вполне обоснованным обобщениям. Так, вывод о снижении влияния размерного эффекта на плотность системы при повышении давления прессования до 1 ГПа (стр. 18) делается на основе результатов моделирования, подтверждение которых даётся экспериментальными значениями для порошка с размерами сферических частиц от 10 нм до 38 нм (рис. 4). Но ширина распределения частиц по размерам для подобных реальных порошковых систем может перекрывать разницу между их средними размерами. Сохранится ли воспроизводимость полученных результатов для нанопорошков с более широким распределением частиц по размерам и существенным отклонением их формы от сферической?

Приведённые замечания не уменьшают достоинств работы и её общей положительной оценки, но требуют пояснений и аргументированных ответов.

В целом, диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне и соответствует требованиям п.9 Положения о присуждении ученых степеней. Считаем, что Болтачев Грэй Шамилович заслуживает присвоения учёной степени доктора физико-математических наук по специальностям 01.04.07 – физика конденсированного состояния и 01.04.13 – электрофизика, электрофизические установки.

Хасанов Олег Леонидович

доктор технических наук по специальности 05.17.11 «Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов», профессор,
заведующий кафедрой наноматериалов и нанотехнологий
Национального исследовательского
Томского политехнического университета
Адрес электронной почты: khasanov@tpu.ru

Двилис Эдгар Сергеевич

кандидат физико-математических наук по специальности 01.04.07 «Физика конденсированного состояния»,
старший научный сотрудник Нано-Центра
Национального исследовательского
Томского политехнического университета
Адрес электронной почты: dvilis@tpu.ru

Почтовый адрес: 634050 г. Томск, пр. Ленина, д.30, Томский политехнический университет
Тел. 8 (3822) 42-72-42

Подписи Хасанова О.Л., Двилиса Э.С. заверяю

Ученый секретарь
Томского политехнического университета



Ананьева О.А.