

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Филиппова Артема Александровича на тему "ОПРЕДЕЛЕНИЕ УПРУГИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАНОЧАСТИЦ", представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.8 Механика деформируемого твердого тела

Диссертационная работа А.А. Филиппова посвящена актуальной и важной проблеме, стоящей перед современным материаловедением — экспериментальному и теоретическому изучению механических свойств наноразмерных частиц, используемых в качестве наполнителей в композитных материалах с эпоксидным связующим. Сегодня тот факт, что многие физические и механические свойства материала на наноуровне могут очень существенно отличаться от макросвойств, практически ни у кого не вызывает сомнения (то есть когда среду еще можно считать континуумом, но уже надо учитывать эффекты, связанные с особенностями молекулярного строения вещества).

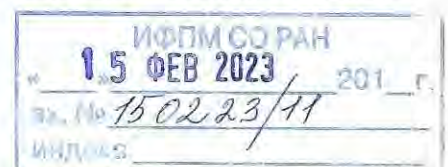
Диссертантом проделана большая экспериментальная работа по определению упругих характеристик эпоксидных композитов в зависимости от концентрации нанонаполнителя. При этом с помощью электронной микроскопии производилась оценка однородности распределения наночастиц по объему материала (что конечно повышает точность полученных результатов). Также с помощью СЭМ и ПЭМ была изучена морфология частиц наполнителя ( $\text{SiO}_2$ ).

Теоретическое описание полученных экспериментальных результатов производилось на основе классических моделей гомогенизации (Фойгта, Рейсса, Хашина, Штрикмана). Новизна авторского теоретического подхода состоит в обобщении математической модели гомогенизации свойств, предложенной Рахматулиным Х.А. для газа с твердыми частицами, на упругое твердое тело в условиях одноосного напряженно-деформированного состояния.

Таким образом, автор показал свою высокую научную квалификацию, как в экспериментальном, так и теоретическом плане.

В качестве замечаний автореферату можно отметить следующее:

- 1) На стр. 10 вызывает некоторое недоумение фраза "... Подходы квантовой механики и молекулярной динамики, демонстрируют изменение механических свойств при размерах порядка одного атома...". Непонятно о каких механических свойствах материала можно говорить на этом уровне. У атома по определению не может быть модуля упругости или какой-то аналогичной характеристики.
- 2) Из реферата неясно, производились ли автором непосредственные измерения упругих свойств наночастиц наполнителя. Сегодня такое вполне можно сделать, например, с помощью атомно-силовой микроскопии. Да, это далеко не тривиальная задача, но результаты бы очень интересны из-за огромной кривизны поверхности наночастиц. Соответственно, можно ожидать наличия очень значительных сил поверхностного натяжения. Это одно из возможных объяснений эффекта увеличения жесткости частиц с уменьшением их размера именно до наноуровня (понятно, что на макроуровне он пренебрежимо мал).
- 3) Автор рассматривает материалы только с малой концентрацией частиц. Было бы интересно исследовать до каких максимальных наполнений работает данный подход.
- 4) Из реферата не совсем понятно какая форма была у частиц наполнителя. Интуитивно ясно, что частицы кремнезема в большинстве своем должны иметь форму зерен. А будет ли работать данный подход в случае нанопластинок или наноиголок?





Указанные замечания не ставят под сомнение сделанные выводы и выдвинутые на защиту положения, а также не влияют на высокую в целом оценку данной диссертации. Таким образом, работа Филиппова Артема Александровича отвечает требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а её автор заслуживает присвоения искомой степени по специальности 1.1.8 Механика деформируемого твердого тела.

Доктор физико-математических наук  
Специальность 1.1.8 (механика деформируемого твердого тела)  
Старший научный сотрудник      Гаришин Олег Константинович

Лаборатория механики структурно неоднородных сред  
Институт механики сплошных сред УрО РАН  
614013 Пермь, ул. Академика Королева, 1  
Тел. +7(342) 2378 392, e-mail: [gar@icmm.ru](mailto:gar@icmm.ru)

Я, Гаришин Олег Константинович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой Диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

6 февраля 2023г.



Гаришин О.К.