

**ОТЗЫВ**  
**на автореферат диссертации Еникеева Наримана Айратовича**  
**«Границы зерен и сверхпрочность наноструктурных материалов»,**  
**представленной на соискание ученой степени**  
**доктора физико-математических наук по специальностям**  
**01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела и**  
**01.04.07 – Физика конденсированного состояния**

В последние годы большое внимание в материаловедении уделяется разработке методов получения металлических материалов с ультрамелкозернистой (nano-) структурой и повышенными механическими свойствами. К настоящему времени разработаны научные подходы к получению такой структуры в объемных заготовках металлов и сплавов с использованием методов интенсивной пластической деформации (ИПД). Вследствие особенностей получения такие материалы обладают большой протяженностью неравновесных высокодефектных границ зерен (ГЗ) во многом определяющих их свойства. В связи с этим, диссертационная работа Н.А. Еникеева, посвященная анализу формирующихся при ИПД границ зерен и их влиянию на свойства наноструктурных материалов представляется новой и актуальной.

В работе на основе компьютерного моделирования и широкого спектра экспериментальных методик, с использованием современного аналитического и испытательного оборудования, разработана концепция многоуровневого моделирования образования и эволюции границ зерен в процессе ИПД, изучено их влияние на механизмы упрочнения наноструктурных материалов. Полученные в работе результаты представляются новыми и достоверными, докладывались на российских и международных конференциях, опубликованы в авторитетных научных журналах. К наиболее значимым научным результатам работы можно отнести выявленную в ней повышенную склонность неравновесных границ зерен к сегрегациям примесей или легирующих элементов и ее влияние на прочность наноструктурных материалов, получаемых методами ИПД.

В качестве замечаний к автореферату можно отметить следующее:

1. В автореферате автором при многоуровневом моделировании понятия макро-, мезо- и микроуровня не вводятся, в связи с чем остается не ясным, чем, например, моделирование на мезоуровне отличается от микроуровня?
2. Автор оценивает неравновесность границ зерен только на основании плотности внесенных зернограничных дислокаций (ВЗГД), не учитывая захваченные границей решеточные дислокации, вакансии и сегрегации. Такой подход, на наш взгляд является не полным, так как в частности при отжиге отпускаются не только ГЗ (путем аннигиляции ВЗГД), но также будут уходить на стоки (границы зерен) решеточные дислокации, вакансии и атомы примесей, что также будет влиять на кинетику процессов возврата.
3. При анализе степени неравновесности и склонности к сегрегациям границ зерен наноструктурных материалов автор не разделяет границы на исходные (существовавшие в материале до ИПД) и новые, формирующиеся непосредственно в

процессе такого воздействия. Вместе с тем, как показывают работы Дивинского С. и Рабкина Е. указанные границы зерен существенно различаются по зернограничным энергиям. Так исходные границы при взаимодействии с дислокациями в процессе ИПД демонстрируют повышенную диффузионную проницаемость, тогда как формирующиеся в процессе ИПД по своим характеристикам близки к обычным большеугловым границам в крупнозернистых поликристаллах. Таким образом, можно ожидать, что вnanoструктурных материалах будет наблюдаться целый спектр энергий большеугловых границ зерен, что необходимо учитывать при анализе степени их неравновесности и склонности к сегрегациям.

В целом, судя по автореферату, диссертация Н.А. Еникеева, несмотря на сделанные замечания, по новизне и объему полученных в ней результатов удовлетворяет всем требованиям ВАК, а докторанту может быть присвоена степень доктора физико-математических наук по специальностям 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела и 01.04.07 – Физика конденсированного состояния.

Зав. лабораторией физического  
материаловедения ИФПМ СО РАН,  
доктор физ.-мат. наук

Е.В. Найденкин

С.н.с. лаборатории физического  
материаловедения ИФПМ СО РАН,  
кандидат физ.-мат. наук

И.В. Раточки

Подписи Найденкина Е.В. и Раточки И.В. заверяю.  
Ученый секретарь ИФПМ СО РАН  
доктор технических наук



В.С. Плешанов

Найденкин Евгений Владимирович,  
Заведующий лабораторией физического материаловедения,  
Раточка Илья Васильевич,  
Старший научный сотрудник лаборатории физического материаловедения,

ФГБУН Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук (ИФПМ СО РАН),  
634055, г. Томск, пр. Академический, 2/4  
тел.: +7-913-858-8092 (моб.), (3822) 491245 (раб.),  
e-mail: nev@ispms.tsc.ru