

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Липатниковой Яны Даниярованы «Исследование суперлокализации пластической деформации монокристаллов сплава  $Ni_3Ge$ », представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07–физика конденсированного состояния.

### 1. Актуальность избранной темы диссертационного исследования

Изучение закономерностей локализованного пластического течения в металлических материалах является одной из важнейших задач физики прочности и материаловедения. Повышенный интерес к изучению локализации деформации обусловлен органической связью этого явления с процессом разрушения и, следовательно, с решением практических задач надежности и долговечности конструкций, технологических процессов обработки металлических материалов. Актуальность данной задачи обусловлена тем, что с практической точки зрения, разрушение может быть катастрофически опасным и его надо уметь предотвращать.

Диссертационная работа Я. Д. Липатниковой является естественным продолжением научных исследований, проведенных в последние десятилетия в Томском государственном архитектурно – строительном университете, посвященных изучению закономерностей неоднородной локализованной деформации в монокристаллах. Предметом исследования данной диссертационной работы является изучение высокотемпературной суперлокализации (сверхлокализации) в монокристаллах  $Ni_3Ge$  при деформации сжатием и ползучести. Явление высокотемпературной суперлокализации, наблюдаемое при температурах  $\geq 0,5T_{пл}$ , заключается в формировании узкой зоны интенсивного сдвигообразования, в которой деформация достигает тысячи процентов. Из-за высокой плотности дефектной структуры в узкой полосе суперлокализации изучение ее микромеханизмов пластического течения и микроструктуры затруднено, вследствие чего количество публикаций по данной теме ограничено.

Известно, что сплавы на основе никеля с составляющей в виде интерметаллида типа  $Ni_3Al$  широко используются в авиации и ракетной технике. Выяснение природы высокотемпературной суперлокализации на примере  $Ni_3Ge$  полезно и может

быть использовано для объяснения потери неустойчивости пластического течения в конструкциях из никелевых сплавов с  $\gamma'$ -фазой ( $\text{Ni}_3\text{Al}$ ) и их последующего разрушения.

Все выше изложенное дает основание утверждать, что заявленная диссертантом научная проблема является, несомненно, актуальной.

## **2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций**

Научные положения и выводы, сформулированные диссертантом в процессе исследований, являются достаточно обоснованными. Это обеспечивается четкой постановкой задачи, комплексным подходом к ее решению с применением экспериментальных и теоретических методов, включая модели дислокационной кинетики и уравнения механики сплошной среды, а также использованием современных экспериментальных методов исследования структуры полосы (электронная микроскопия, рентгеновские методы определения ориентаций монокристаллов), воспроизводимостью и согласием экспериментальных и теоретически рассчитанных результатов. При обсуждении и сравнении полученных результатов диссертантка использовала труды авторитетных ученых (список литературы по теме диссертации включает 105 наименований источников).

## **3. Оценка научной новизны и достоверность положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Все заявленные в настоящей диссертационной работе пункты научной новизны обоснованы. Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем.

Во-первых, соискателем установлен характер ориентационной зависимости проявления высокотемпературной суперлокализации в монокристаллах интерметаллида  $\text{Ni}_3\text{Ge}$  как при деформации сжатием, так и в условиях ползучести. Последняя схема нагружения особенно важна для анализа, поскольку детали из суперсплавов с интерметаллидами со сверхструктурой  $\text{L}_{12}$  работают и разрушаются в высокотемпературной области в режимах ползучести.

Во-вторых, с использованием методов оптической и сканирующей электронной микроскопии, электронной микроскопии фольг в монокристаллах  $\text{Ni}_3\text{Ge}$  с раз-

ной ориентацией оси деформации были определены действующие системы скольжения, исследована дислокационная структура полос локализованного сдвига, установлен факт некристаллографического характера ориентации полос локализованного сдвига. На основании полученных результатов предложена схема развития высокотемпературной пластической деформации в монокристаллах  $\text{Ni}_3\text{Ge}$ , найдены условия как на макро-, так и на микроуровне, при которых наблюдается развитие суперлокализации, а именно: высокопрочные оси сжатия монокристалла (благоприятные для октаэдрического скольжения), высокая температура и наличие концентратора напряжения.

В- третьих, предпринята попытка изучить теоретическими методами условия и механизмы, способствующие формированию суперлокализации. Для расчета в работе были предложены модель дислокационной кинетики и модель, объединившая модель дислокационной кинетики и уравнения механики сплошных сред.

Проведенные расчеты для сплавов со сверхструктурой  $L1_2$  в модели дислокационной кинетики позволили сделать вывод о том, что возникновению полос суперлокализации способствуют наличие концентраторов напряжения и немонотонный характер упрочнения элементарного объема среды. Было отмечено также, что конкретные микромеханизмы пластического течения, формирующие полосу суперлокализации, не являются принципиально важными.

Расчеты в объединенной модели также подтверждают вывод о том, что в сплавах со сверхструктурой  $L1_2$  полоса суперлокализации пластического течения может быть образована лишь при наличии немонотонного характера упрочнения элементарного объема и достаточно высокого значения предела текучести  $\sigma_T$  ( $\sigma_T > 900 \text{ МПа}$ ).

О полноте отражения результатов проведенного исследования свидетельствуют 10 публикаций, из них 5 в журналах, входящих в перечень ВАК РФ. Проведенная автором апробация основных результатов диссертации на многочисленных конференциях и семинарах также подтверждает их достоверность.

#### **4. Теоретическая и практическая значимость работы**

Результаты, полученные в диссертации, дают возможность понять природу пла-

стического течения на макро- мезо- и микромасштабных уровнях, поскольку в работе согласованы физический и механический подходы. Они также углубляют современные представления о закономерностях развития пластического течения в сплавах со сверхструктурой  $L1_2$ . Установленные в работе условия, способствующие формированию полос суперлокализации, одновременно дают возможность предотвратить появление неустойчивости пластического течения и последующего быстрого разрушения.

Предложенный в работе комплексный подход к изучению закономерностей пластического течения может быть эффективно использован для детального анализа деформированных состояний в зонах разнообразных геометрических концентраторов напряжений, неисследованных в настоящей работе, а также для класса монокристаллов.

Использованные в работе теоретические методы расчета могут быть полезными в учебном процессе при подготовке студентов по соответствующим направлениям.

## **5. Замечания и предложения по диссертационной работе**

По диссертационной работе имеются следующие замечания и пожелания.

1. На первой странице введения есть фраза, констатирующая хорошо известный в научной литературе факт: «Локализация пластической деформации связана, как правило, с наличием концентратора напряжений». В параграфе «Основные результаты» эта же мысль повторяется в выводах №4 и №9. Предлагаю убрать вывод №9.

2. Предложенные модели для анализа суперлокализации в монокристаллах выведены для элементов сплошной среды. Результаты расчета с использованием предложенных моделей дают возможность выяснить условия возникновения полос суперлокализации на макроскопическом уровне (немонотонный характер упрочнения элементарного объема и высокий пределе текучести). Ответа на вопрос о том, какие механизмы пластического течения в монокристаллах обуславливают упрочнение и высокий предел текучести, они не дают. В этом плане предстоит большая работа над моделями расчета.

3. Во втором пункте раздела «Основные результаты и выводы» делается вывод о том, что увеличение скорости деформации на порядок приводит к утончению поло-

сы суперлокализации в два раза, и это свидетельствует о диффузионной природе механизма суперлокализации. Можно дать также и другую интерпретацию этих результатов, а именно: с увеличением скорости деформации увеличивается жесткость напряженного состояния, то есть изменяются условия эксперимента. В результате этого пластическое течение затрудняется, увеличиваются напряжения, что способствует скорейшему разрушению монокристалла.

4. В качестве пожелания предлагаю провести совместную работу с использованием оптико-телевизионного комплекса для измерения локальных линейных и сдвиговых компонент деформации, разработанного в ИФПМ. Предложенный метод позволит количественно аттестовать деформированное состояние и, таким образом, сопоставить и дополнить теоретические расчеты по деформированному состоянию монокристаллов и образцов с геометрическими концентраторами напряжений.

Указанные замечания не снижают научной и практической значимости исследований и общего положительного впечатления от выполненной работы.

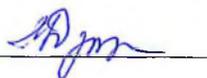
#### **6. Соответствие диссертации требованиям, предъявляемым «Положением о порядке присуждения ученой степени»**

Диссертация отвечает требованиям п.9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ №842, от 24.09.2013 г. по специальности 01.04.07–физика конденсированного состояния. Автореферат и опубликованные печатные труды отражают основные положения диссертации. Считаю, что автор диссертации Липатникова Яна Данияровна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07–физика конденсированного состояния.

Официальный оппонент

доктор физико-математических наук,

доцент, старший научный сотрудник лаборатории ФМ и НМК

ИФПМ СО РАН, г. Томск  Людмила Сергеевна Деревягина

Сведения об официальном оппоненте:

Деревягина Людмила Сергеевна, доктор физико-математических наук, доцент, Фе-

деральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук (ИФПМ СО РАН), старший научный сотрудник лаборатории физической мезомеханики и неразрушающих методов контроля, г.Томск.

Раб.тел/факс (3843) 286-916; моб: +79138738658

e-mail : [lsd@ispms.tsc.ru](mailto:lsd@ispms.tsc.ru)

Личную подпись Л.С. Деревягиной заверяет:

Ученый секретарь доктор технических наук

ИФПМ СО РАН

21.11.2014г.



Плешанов Василий Сергеевич