



**Министерство образования и науки  
Российской Федерации**  
*федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего профессионального образования*  
**«Алтайский государственный  
технический университет  
им. И.И. Ползунова» (АлтГТУ)**  
пр-т Ленина, 46, г. Барнаул, 656038  
Телефон: (3852) 26-09-17  
Факс: (3852) 36-78-64  
E-mail: altgtu@list.ru ;  
ntsc@desert.secna.ru

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научно-инновационной  
работе АлтГТУ, доктор технических  
наук, профессор

« 29 » \_\_\_\_\_ 2014 г.  
А.А. Максименко

№ \_\_\_\_\_

## ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу  
Липатниковой Яны Данияровны «Исследование суперлокализации  
пластической деформации монокристаллов сплава Ni<sub>3</sub>Ge» по специальности  
01.04.07 – Физика конденсированного состояния на соискание ученой  
степени кандидата физико-математических наук

Одним из важнейших направлений исследования в области физики прочности и пластичности материалов является исследование локализации пластической деформации. Локализация пластической деформации имеет большое значение при обработке материалов, а также определяет прочностные характеристики материала в процессе эксплуатации. Этому направлению исследования посвящено множество работ. Однако явлению суперлокализации или сверхлокализации пластической деформации, при котором наблюдается потеря устойчивости однородной деформации и катастрофическое разрушение деталей некоторых изделий уделено не столь большое внимание. Особенно актуальным является исследование этого явления в сплавах со сверхструктурой L1<sub>2</sub>, к которым относится сплав Ni<sub>3</sub>Ge, так как основой материалов для горячих частей двигателей внутреннего сгорания служат именно сплавы с этой структурой, имеющие аномальные механические свойства и хорошие прочностные характеристики при эксплуатации в условиях высоких температур. Очевидно, что изучение условий и механизмов явления суперлокализации пластической деформации является важным для объяснения потери высокотемпературных свойств сплавов с L1<sub>2</sub> сверхструктурой при определенных температурно-силовых условиях. Таким образом, исследование явления суперлокализации

**пластической деформации на примере монокристаллов сплава  $Ni_3Ge$  является актуальной задачей.**

Диссертационная работа Липатниковой Я.Д. состоит из введения, шести глав и заключения. **В первой главе** дан обзор работ по макроскопической локализации пластической деформации. Представлены картины макроскопической локализации в щелочно-галлоидных, щелочноземельных галлоидных монокристаллах и монокристаллах стали Гадфильда, парателлурита и сплава  $Ni_3Ge$ . Рассмотрены возможные механизмы возникновения данного явления в этих материалах.

**Во второй главе** сформулированы основные задачи исследования на основе проведенного анализа литературы в первой главе.

**В третьей главе** представлены экспериментальные исследования суперлокализации пластической деформации в монокристаллах сплава  $Ni_3Ge$ . Глава разделена на две части, в первой части описано исследование в условиях квазистатического сжатия, во второй – при ползучести. В условиях квазистатического сжатия автором были изучены влияние оси ориентации на деформационный рельеф кристаллов, геометрию скольжения и структуру полос суперлокализации, а также изучена дислокационная структура как в полосе суперлокализации, так и в областях вне полосы суперлокализации. Для сравнительного исследования были выбраны направления  $[0\ 0\ 1]$  и  $[\bar{1}\ 3\ 9]$  оси деформации. Сделан обоснованный вывод о том, что переход от более жесткой ориентации  $[0\ 0\ 1]$  к ориентации  $[\bar{1}\ 3\ 9]$  влияет на степень локализованности образованных полос. Проведенное исследование явления суперлокализации при ползучести практически важно, так как детали, изготовленные из суперсплавов, в основе которых сплавы со сверхструктурой  $L1_2$ , работают в близких температурно-силовых условиях. Липатниковой Я.Д. в условиях ползучести исследовались те же направления оси деформации, что и при активной деформации. Установлено, что наблюдаемая потеря устойчивости пластического течения и катастрофическое увеличение скоростей ползучести связано с явлением суперлокализации пластической деформации. Изучены деформационный рельеф, структура полосы и дислокационная структура при ползучести. В результате сделаны выводы об условиях возникновения полосы суперлокализации. Необходимыми из них являются высокая температура, высокопрочное состояние, достигаемое в наиболее жестких ориентациях, и наличие концентраторов напряжения в деформируемом образце.

**В четвертой главе** Липатниковой Я.Д. приведена модель дислокационной кинетики возможного развития суперлокализации пластической деформации сплавов со сверхструктурой  $L1_2$ . Дана система уравнений модели. Автором получены различные решения этой системы в зависимости от параметров, отвечающих за перераспределение дислокаций в стенке, а также фазовые портреты. Для различного вида кривых упрочнения, полученных при решении системы уравнений дано описание развития пластического течения деформируемых образцов. Автором дается подробное объяснение того, что при апериодически затухающем и периодически

затухающем упрочнении, которое описывает деформационное поведение элементарного объема среды, вероятно образование полосы суперлокализации; при монотонно возрастающем упрочнении элементарного объема деформационной среды образец деформируется без образования полос суперлокализации. И, наконец, при периодическом виде кривой упрочнения на фоне общего возрастания напряжений возможно появление и развитие нескольких полос суперлокализации. В завершении главы сделаны краткие выводы.

**Пятая глава** посвящена описанию модели механики деформируемого твердого тела. Здесь автором приведены универсальные уравнения движения сплошных сред, определяющие соотношения теории пластического течения и уравнение состояния в форме Ми-Грюнайзена. В качестве локального критерия сдвигового разрушения выбрана предельная величина интенсивности пластических деформаций. Завершают модель начальные и граничные условия. Описана реализация синтеза моделей механики и дислокационной кинетики. Кривые упрочнения элементарного объема дислокационной среды, полученные в ходе решения системы уравнений модели дислокационной кинетики сплавов со сверхструктурой  $L1_2$ , были аппроксимированы полиномами второй и пятой степеней, и затем представлены в качестве зависимости предела текучести от деформации в условии текучести Мизеса. Такое представление позволяет учесть в синтетической модели процессы упрочнения и разупрочнения в ходе пластического течения. Завершает главу описание численной реализации полученной синтетической модели.

**В шестой главе** приведены результаты численной реализации синтеза моделей дислокационной кинетики и механики движения сплошной среды. Автором получены 3-хмерные изображения деформации прямоугольных образцов при одноосном сжатии. В этой главе автором исследовались макроскопические изменения формы образца и макроскопические кривые деформации в зависимости от свойств элементарного объема деформационной среды. Была изучена деформация образцов при монотонно возрастающем упрочнении элемента образца. Деформация в таких условиях протекает однородно, за исключением случаев, когда высота образца больше длины и ширины в два с половиной раза. В этом случае появляется изгибная неустойчивость однородной пластической деформации, что свидетельствует об эффективности предложенной модели. Образование полосы суперлокализации не обнаружено. Посчитанные кривые течения так же являются монотонно возрастающими, что указывает на отсутствие потери устойчивости пластической деформации. При аperiodически затухающем упрочнении элементарного объема образуется полоса суперлокализации пластической деформации при условии достаточно высокого начального предела текучести. Это хорошо согласуется выводами экспериментального исследования. Усредненные кривые упрочнения также имеют немонотонный вид, указывающий на процессы разупрочнения. При периодически затухающем характере упрочнения элементарного объема среды выявлено

возникновение нескольких полос локализации деформации, однако в дальнейшем развивается только одна полоса. Несколько полос суперлокализации пластической деформации получено при повторяющемся немонотонном характере упрочнения на фоне общего возрастания напряжения. Эти результаты численного моделирования хорошо согласуются с проведенными автором экспериментальными исследованиями.

Также в шестой главе приводятся результаты расчетов с искусственно введенными концентраторами напряжений в виде разрезов на боковых гранях для изучения возможности появления полосы суперлокализации в условиях более мощных концентраторов напряжения, нежели углы и ребра кристалла. Автором выяснено, что при монотонно возрастающем характере упрочнения образования полосы суперлокализации не наблюдается, а при немонотонном упрочнении искусственно введенные концентраторы напряжения инициируют начало процесса развития полосы суперлокализации. Образование и развитие полос суперлокализации пластической деформации более интенсивное, нежели в отсутствие искусственных концентраторов. Сделан вывод о том, что немонотонный характер упрочнения элементарного объема среды является необходимым условием образования и развития суперлокализации пластической деформации. Завершают главу выводы по проведенным численным экспериментам.

**Основные выводы и результаты исследования обладают новизной, которая состоит в следующем:**

- Экспериментально установлены условия, необходимые для появления полос суперлокализации пластической деформации в монокристаллах сплава  $Ni_3Ge$ .
- Впервые обнаружено явление суперлокализации при ползучести.
- Построена математическая модель этого явления, синтезирующая модель механики твердого тела и модель дислокационной кинетики.
- Теоретически обоснованы условия, необходимые для реализации процессов суперлокализации пластической деформации.

**Достоверность** научных положений, выводов и рекомендаций обеспечивается применением современных экспериментальных методик и аппаратуры, широко апробированных методов математического моделирования и хорошей согласованностью теоретических данных с экспериментальными.

Замечания и предложения по диссертационной работе следующие:

- Для полноты картины представленной работы следовало, возможно, добавить экспериментальные исследования с концентраторами напряжений в виде разрезов на боковых гранях, чтобы подтвердить теоретические результаты, приведенные в пункте диссертации 6.4.
- В основных выводах автор пишет, что при немонотонном упрочнении при высоком уровне начального предела текучести суперлокализация

пластической деформации имеет место, а при низком – нет. Здесь следовало бы более конкретно указать величины пределов текучести.

- Желательно было бы прокомментировать Ваши результаты с представленными ранее в нашем коллективе в работе Чумаевского А.В. «Организация пластической деформации в монокристаллах меди при одноосном сжатии и трении». Какие из результатов имеют общие характеристики, в чем различие?

Несмотря на сделанные замечания, диссертация Липатниковой Яны Данияровны является научно-квалифицированной работой, результаты которой содержат решение задачи, имеющей значение для развития физики прочности металлов и сплавов.

Автореферат корректно отражает содержание диссертации. Материалы диссертации полностью опубликованы в рецензируемых журналах, докладывались и обсуждались на международных и всероссийских конференциях.

Диссертация Я.Д. Липатниковой «Исследование суперлокализации пластической деформации монокристаллов сплава  $Ni_3Ge$ » соответствует требованиям, предъявляемым ВАК Минобрнауки РФ к кандидатским диссертациям по Положению о порядке присуждения ученых степеней (п.9). Липатникова Яна Данияровна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния.

Диссертация и отзыв были рассмотрены и одобрены на научном семинаре кафедры физики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» (протокол № 5 от 29 октября 2014г.)

Доктор физико-математических наук,  
профессор, Заслуженный деятель науки РФ,  
председатель диссертационного совета Д212.004.04  
Старостенков Михаил Дмитриевич  
656038, Алтайский край, г. Барнаул, проспект Ленина, д. 46  
тел.: +7 (3852) 290–852  
e-mail: genphys@mail.ru  
ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный  
технический университет им. И.И. Ползунова»  
заведующий кафедрой «Физика»