

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу «Автоволновые процессы деформации Людерса и Портевена-Ле Шателье», представленную к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – физика конденсированного состояния Даниловой Лидией Владиславовной.

Актуальность темы диссертации. Исследование пластической деформации материалов – одно из наиболее развитых направлений физического материаловедения, имеющее многолетнюю историю, привлекающее многочисленных исследователей, посвятивших этому феномену тысячи статей. Однако, все усилия, по мнению автора диссертации, «...до сих пор не привели к созданию единой системы взглядов на природу пластичности».

Есть много причин, объясняющих такое положение. Деформационное поведение материалов зависит, прежде всего, от их структурного состояния, условий деформирования (температура, скорость деформирования и др.) Кроме того, виды отклика материалов на внешнее воздействие многообразны. Это деформация скольжением, двойникованием, образованием сбросов, за счет диффузии, а также формирование окончательной фазы деформирования – это хрупкое или вязкое разрушение.

Существующие подходы к решению проблемы, а именно – дислокационный, описывающий процессы пластичности через движение и взаимодействие дефектов – дислокаций и феноменологический – механика деформируемого твердого тела, учитывающая соответствие между деформацией среды и действующими нагрузками не дают однозначного ответа на решение проблемы.

При исследовании пластичности предпринимались попытки учета нелинейности среды, что отражает диаграмма напряжение-деформация, использования теории неравновесных систем. Последнее развило представления о мультимасштабности и кооперативности процессов пластического течения

В конце прошлого века появилась гипотеза о локализации пластического течения, как о форме самоорганизации пластической деформации среды, которая легла в основу автоволновой физики пластичности. В этом направлении активно работает научная школа профессора Л.Б.Зуева. Цель, представленной сегодня к защите работы, выполненной под руководством профессора Л.Б.Зуева «Установить и объяснить на базе существующих микроскопических моделей макроскопические пространственно-временные закономерности развития локализованной пластической деформации по механизмам Людерса и Портевена-Ле Шателье в рамках автоволновой концепции пластического течения» безусловно является актуальной.



Диссертационная работа состоит из введения, выводов, пяти разделов, изложена на 127 страницах, содержит 37 рисунков и 4 таблицы. Список цитированной литературы насчитывает 208 наименований.

Первый раздел диссертации содержит обзор литературы, в котором рассмотрены современные физические представления о природе пластической деформации: дислокационные на микроуровне, формирование дислокационных конгломератов - мезоскопический уровень и макроскопический уровень, когда рассматриваемые эффекты пластической деформации возможно наблюдать невооруженным глазом. В обзоре обоснована целесообразность использования положений синергетики при разработке современной теории пластичности. В завершении обзора проанализирована возможность интерпретации закономерностей пластического течения на основе автоволновой модели пластичности. В рамках этой модели формируется новая система взглядов на процесс пластического течения. Сформулирована цель и задачи исследования.

Во втором разделе диссертации приведены экспериментальные методики, используемые в работе, виды образцов и материалов, из которых они изготовлены. Обозначены характерные параметры нагружения, фиксируемые по диаграмме напряжение-деформация.

Механические испытания дополнены цифровыми вариантами анализа пластической деформации – цифровой корреляцией изображений и цифровой статистической спекл-фотографией. Это позволило *in situ* наблюдать паттерн локализованной пластичности. Использовались также хронограммы движения фронтов полос Людерса и Портевена-Ле Шателье.

Обоснован выбор материалов для исследований, в которых на диаграммах напряжение-деформация содержатся участки, с отрицательным коэффициентом упрочнения и наблюдается локализованная пластичность. Кроме того, использованы оптическая, атомно-силовая микроскопия, ферритометрические измерения, статистические методы.

В третьем разделе автором исследована деформация Людерса в материалах, имеющих зуб и площадку текучести. Деформация Людерса возможна не только в материалах с дислокационной пластичностью, но и в материалах с фазовыми превращениями, такими как, никелид титана. Природа пластического течения в этих материалах, различна, но кинетические характеристики практически одинаковы. Так, например, зависимость скорости движения фронтов Людерса от скорости нагружения имеет слабую нелинейность и в одном и в другом случае. Фронт полосы Людерса может пройти по образцу только один раз. В случае зарождения двух полос Людерса, движущиеся навстречу фронты полос при пересечении аннигилируют. В заключении автор делает вывод, что в рамках автоволновой модели, движение фронтов Людерса можно считать как движение автоволн переключения, переводящих среду из упруго напряженного состояния пластически деформированное.

В четвертом разделе исследованы пространственно-временные закономерности деформации Портевена-Ле Шателье, которые проявляются в форме прерывистой текучести.

Отмечены подобию и различия деформации Портевена-Ле Шателье с деформацией Людерса. В частности, на стадии зарождения полосы есть морфологическое сходство с полосами Людерса, но развитие полосы происходит с гораздо большей скоростью, как и ее движение по образцу. Одному скачку деформации на диаграмме напряжение-деформация соответствует движение только одной полосы Портевена-Ле Шателье. Передний и задний фронты движутся в одном направлении, а ширина полосы составляет 2 - 3 мм. В отличие от деформации Людерса, полосы Портевена-Ле Шателье пробегают через образец многократно. Характерные особенности полос Людерса и Портевена-Ле Шателье объясняются на основе различных дислокационных моделей, известных в литературе.

Во второй части этого раздела рассмотрена скачкообразная деформация в метастабильной аустенитно-мартенситной стали в которой наблюдается ТРИП-эффект, проявляющийся при фазовом превращении аустенит-мартенсит.

В разделе приведены структурные состояния стали после различных обработок и их прочностные характеристики. Проанализировано поведение стали по диаграммам нагружения с одновременной регистрацией хронограмм. Определены кинетические характеристики движения фронтов, а также их аннигиляция. В разделе сделан вывод, что фронты локализованной деформации являются фронтами деформационного фазового превращения аустенит-мартенсит и к этому явлению применима теория автоволновой локализованной пластичности. Переход аустенит-мартенсит реализуется в виде автоволны переключения локализованной пластичности. А зона аннигиляции автоволн становится источником автоволн возбуждения локализованной пластичности. Процессы повторяются до тех пор, пока превращение аустенит-мартенсит не завершится.

Пятый раздел посвящен рассмотрению и объяснению некоторых закономерностей автоволновых процессов при деформациях Людерса и Портевена-Ле Шателье. В частности, подтверждена справедливость автоволнового подхода, в соответствии с которым локализация пластического течения начинается в начале процесса и контролируется процессом самоорганизации деформируемой среды, принимая форму различных автоволновых мод локализованного пластического течения. Упруго-пластический переход в этих случаях рассматривается как реализация двух разных волн. Фронт Людерса представляет собой автоволну переключения, а фронт Портевена-Ле Шателье является волной возбуждения в активной среде. Основное различие автоволновых мод при деформациях Людерса и Портевена-Ле Шателье определяется существенным различием времен рефрактерного состояния. При деформации Людерса оно велико в сравнении с временем процесса. При деформации Портевена-Ле Шателье оно

соизмеримо с временем процесса. Природа этого отличия определяется дислокационными механизмами.

Научная новизна, обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

Научная новизна работы заключается:

- в обнаружении новой автоволновой моды деформации – автоволны возбуждения локализованного пластического течения, соответствующей развитию эффекта Портевена-Ле Шателье, определены условия ее возникновения.

- предложены количественные критерии реализации деформации Людерса и Портевена-Ле Шателье, определяемые микромеханизмами течения;

- подтверждена применимость автоволновой концепции пластического течения к объяснению деформации Людерса и Портевена-Ле Шателье.

Достоверность и обоснованность, полученных в диссертации результатов, обеспечивается применением современных, апробированных методов исследования, воспроизводимостью и непротиворечием результатов известным физическим теориям и положениям, согласованностью полученных результатов с теоретическими и экспериментальными данными других авторов, опубликованными в научной литературе, а также применением аппарата математической статистики, в частности, при определении разрешающей способности и точности используемых методик.

Результаты работы в полной мере опубликованы в научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ, а также в изданиях, входящих в базы данных цитирования Scopus и Web of Science, доложены на представительных международных конференциях.

Научная значимость и практическая ценность результатов.

Научная значимость работы определяется согласованием микроскопических и макроскопических закономерностей деформационного поведения материалов в интервалах зависимостей напряжение-деформация, имеющих отрицательный коэффициент деформационного упрочнения, для деформаций Людерса и Портевена-Ле Шателье.

Предложен механизм генерации автоволны возбуждения при пластическом течении структурно неустойчивых металлических сплавов, а пространственно-временные характеристики автоволн переключения и возбуждения обусловлены микромеханизмами пластического течения.

В практическом отношении в работе определены условия возникновения и развития автоволновых процессов пластического течения в зависимости от известных микромеханизмов деформации, которые использованы в методиках оценки остаточного ресурса работы теплоэнергетического оборудования.

При исследовании теплостойкой стали для тепловых агрегатов установлены закономерности эволюции паттернов локализованной

пластичности, включающие в себя последовательную смену автоволны переключения на стационарную диссипативную структуру, а увеличение темпа эволюции паттернов локализованной деформации приводит к уменьшению промежутка времени до наступления коллапса автоволны.

Замечания по диссертации

1. На рис.3.5 приведены примеры эволюции фронтов Людерса. Из текста диссертации «...оба фронта перемещаются в одном направлении, причем задний, в этом случае, очевидно, движется по уже пластически деформированной части образца». Здесь есть противоречие, т.к. фронт Людерса – волна переключения материала из упругого (перед фронтом) в пластическое (позади фронта) состояние.

2. Рассматривая локализованную деформацию, как зарождение и движение автоволн, автор процесс аннигиляции фронтов Людерса, не анализирует с автоволновых позиций, с позиций взаимодействия дислокаций или дальнедействующих упругих полей.

3. Для объяснения эффекта Портевена-Ле Шателье ранее использовалось солитонно-подобное решение, предложенное Кубеном и Эстриным в 1985-1986 г.г. В чем отличие автоволнового подхода?

4. В диссертации утверждается, что микроскопический механизм эффекта Портевена-Ле Шателье связан с взаимодействием дислокаций с преципитатами. Как объяснить, что в ряде разбавленных твердых растворов, где отсутствуют преципитаты, наблюдается эффект Портевена-Ле Шателье (Mat.Sci.Eng.A.2003.V.349.P.272)?

5. Рис.3.3; 3.4; 3.6-3.9 получены на железе. Каком? Армко–железо и сталь 08 отличаются по содержанию углерода в среднем примерно в три раза. А углерод основной элемент, формирующий атмосферы Котрелла. Следовательно, закрепление дислокаций перед фронтом будет различным, а это должно сказаться на кинетических характеристиках процесса.

6. Среди методик структурной аттестации материалов заявлено измерение микротвердости. Однако, в каких экспериментах она измерялась в работе нет сведений. .

7. По-видимому, из-за невнимательности автора изредка встречаются ошибки и опечатки. Информация на стр.7 повторяется на стр.34.

При определении скорости движения фронтов деформации автор, как правило, указывает интервал скоростей и, не оговаривает величину погрешности измерения.

На рис. 4.5а деформирующие напряжения не достигают и 1400 МПа, тогда как в тексте они достигают 1500 МПа. Нет также соответствия времен и нагрузок на рис. 4.5а и 4.5б.

Сделанные замечания не снижают, в целом, положительной оценки диссертационного исследования и не ставят под сомнение общие выводы по работе.

Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 1.3.8 – физика конденсированного состояния п.п.1,6.

Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации.

Заключение.

Считаю, что научный уровень, решаемых задач, объем и актуальность выполненных исследований, обоснованность, вынесенных на защиту положений, достоверность и научная новизна, полученных результатов, их значимость для науки и производства позволяют считать, что диссертация Даниловой Л.В. является завершенной научно-квалификационной работой, в которой решена научная задача, имеющая важное значение для физики конденсированного состояния – установление пространственно-временных закономерностей развития локализованной пластичности по механизмам Людерса и Портевена-Ле Шателье в рамках автоволновой концепции пластического течения. Диссертация удовлетворяет требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям п.П.9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24.09.2013 г. (в редакции от 11.09.2021г.), а ее автор, Данилова Лидия Владиславовна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – физика конденсированного состояния.

Официальный оппонент



Федоров Виктор Александрович

Заслуженный деятель науки РФ, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры теоретической и экспериментальной физики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина».

Научная специальность: 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния».

392000, г. Тамбов,

ул. Интернациональная, 33,

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина»

Тел.: 8(4752) 72-34-34 доб.20-18

Email: fedorov-tsu.tmb@inbox.ru

На обработку персональных данных согласен.

17.01. 2022 г.



ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина»

Подпись *Федоров В.А.*

ЗАВЕРЯЮ

Заместитель директора Департамента УП и КП

Иванов И.И.

« » 20 г.