Утверждаю
Директор ИФПМ СО РАН
д.т.н. _____ Е.А. Колубаев
«15» 09 2021 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института физики прочности и материаловедения
Сибирского отделения Российской академии наук

Диссертация «Автоволновые процессы деформации Людерса и Портевена-Ле Шателье», представляемая на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. – Физика конденсированного состояния, выполнена в лаборатории физики прочности (ЛФП) Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук (ИФПМ СО РАН).

В период подготовки диссертации соискатель ученой степени Данилова Лидия Владиславовна (дата рождения 18 августа 1992 года) обучалась аспирантуре Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» (ФГФОУ ВО НИ ТГУ) с 2018 по 2021 годы и работала в лаборатории физики прочности в должности младшего научного сотрудника с 2016 года по настоящее время.

Научный руководитель – Зуев Лев Борисович, профессор доктор физико-математических наук, заведующий ЛФП ИФПМ СО РАН (основное место работы), профессор кафедры проектирования и прочности ФГФОУ ВО НИ ТГУ (работа по совместительству).

По итогам обсуждения диссертационной работы Даниловой Л.В. принято следующее:

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Актуальность темы диссертации

Сложность проблемы пластичности состоит в том, что в процессе деформации непрерывно изменяются как механические свойства материала, так и его структура. Эти изменения наблюдаются на различных масштабных уровнях. В диссертации сделана попытка связать при описании пластического течения нелинейность деформируемой среды, то есть изменения дефектной структуры с макроскопическими закономерностями деформационных процессов.

Начиная с 30-х годов прошлого столетия, описание пластического течения в основном базируется на различных вариантах теории дислокаций. На их основе созданы многочисленные полезные модели реальных деформационных процессов, но построить замкнутую и строгую теорию пластичности твердых тел не удалось. Главная причина неуспеха крылась в неадекватности принимаемого по умолчанию в физике пластичности принципа, согласно которому только процессы на микроуровне являются единственным информативным признаком деформации и деформационного упрочнения. Понимание этого обстоятельства заставило принять во внимание решающую роль процессов, протекающих на макроскопическом уровне, и перейти к использованию автоволновой модели пластического течения. Занимая место на стыке физики кристаллов и механики

деформируемого твердого тела, автоволновая модель пластичности берет из физики идеи о природе и кинетики самоорганизации нелинейных сред, а механика деформируемого твердого тела снабжает ее информацией о пространственно-временных закономерностях пластического течения материалов различной природы. Использование автоволновой модели развития деформации позволит установить однозначную связь характера деформационных процессов на упругопластическом переходе с формированием определенных автоволновых мод и объяснить различие механических откликов материалов, кристаллическая решетка которых находится в стабильном и метастабильном состояниях. В этих рамках определились цель настоящей диссертации и конкретные задачи, решение которых необходимо для ее достижения.

Оценка выполненной соискателем работы

Диссертация Даниловой Л.В. является законченной научно-квалификационной работой, в которой обнаружена новая автоволновая мода деформации – автоволна возбуждения локализованного пластического течения, соответствующая развитию эфекта Портевена-Ле Шателье, и определены условия ее возникновения; предложены количественные критерии реализации эффектов Людерса и Портевена-Ле Шателье, связанные с микромеханизмами пластического течения; подтверждена применимость автоволновой концепции пластического течения к объяснению деформации Людерса и Портевена-Ле Шателье.

Основные результаты, полученные соискателем впервые

1. Экспериментально установленные кинетические закономерности деформации Людерса, доказывающие, что фронты Людерса суть автоволны переключения, которые, однократно проходя по образцу, необратимо переводят среду из упруго напряженного в пластически деформируемое состояние.
2. Обнаружение и объяснение слабой нелинейности зависимости скорости автоволн переключения от скорости деформирования, вызванной влиянием областей нелокализованной деформации, развивающихся в деформируемой среде позади фронта Людерса.
3. Экспериментальные доказательства существования автоволн возбуждения локализованной пластичности, соответствующих скачкообразной деформации Портевена-Ле Шателье и способных, в отличие от автоволн переключения, многократно проходить по одной и той же области, требуя для этого роста деформирующего напряжения.
4. Условия генерации автоволн переключения и возбуждения, а также перехода между ними в материалах, на деформационной кривой которых реализуется площадка текучести и скачкообразная деформация. Механизм реализации перехода, состоящий в том, что по материалу проходят автоволны переключения, разбивая его на несколько независимых областей, в каждой из которых затем распространяются автоволны возбуждения.

Теоретическая значимость работы

Теоретическая значимость диссертации Даниловой Л.В. определяется тем, что в ней впервые:

- проведено сравнение микроскопических и макроскопических закономерностей деформационного поведения материалов на участках кривой течения с отрицательным значением коэффициента деформационного упрочнения при деформации Людерса и Портевена-Ле Шателье;
- обнаружена новая автоволновая мода локализованной пластической деформации – автоволна возбуждения – и предложен механизм ее генерации при пластической деформации структурно неустойчивых металлических материалов;
- доказано, что полученные пространственно-временные характеристики автоволн переключения и возбуждения связаны с микромеханизмами деформации;

- расширена на область описания скачкообразной деформации материалов применимость автоволновой теории пластического течения.

Практическая значимость работы

Установленные в работе закономерности эволюции автоволновых мод локализованной пластичности в малоуглеродистой стали на качественном уровне, не зависящие от предшествующего состояния материала и включающие в себя последовательную смену автоволны переключения на стационарную диссипативную структуру, а затем коллапс автоволны, прослежены при исследовании теплостойких сталей для тепловых агрегатов. Получено доказательство увеличения темпа эволюции паттернов локализованной деформации в зависимости от времени эксплуатации материала, то есть от степени деградации структуры стали, что приводит к уменьшению времени наступления коллапса автоволны. Данные результаты были использованы для разработки структурно-механического критерия оценки остаточного ресурса теплоэнергетического оборудования при выполнении договора на выполнение научно-исследовательских работ № 012/19 от 19.06.2019 года с ООО «Кузбасский центр сварки и контроля (г. Кемерово) и вошли в соответствующий отчет.

Кроме того, результаты исследований могут быть использованы в преподавании учебных дисциплин: «Физика конденсированного состояния», «Материаловедение» и «Механические свойства твердых тел и методы их определения» для аспирантов Института физики прочности и материаловедения СО РАН, обучающихся по направлениям: 01.06. 01 Математика и механика, 03.06.01 Физика и астрономия и 22.06.01 Технологии материалов.

Достоверность результатов и обоснование выводов обеспечивается использованием современных апробированных экспериментальных методов, интерпретацией полученных результатов на основе существующих положений физической теории пластичности и физического материаловедения; критическим анализом и сравнением полученных данных с приведенными в литературе сведениями о закономерностях пластического течения в материалах разной природы; использованием при необходимости в ходе обработки экспериментальных данных методов математической статистики, в частности, при определении разрешающей способности и точности используемых методик.

Личный вклад в выполнение диссертационной работы состоял в обсуждении и обосновании выбора конкретного направления исследований; участии в постановке задачи исследования и детализации конкретного плана исследовательских работ; непосредственном участии в проведении всего объема экспериментальных исследований; обработке, анализе и интерпретации полученных результатов.

Основное содержание работы

Основные результаты диссертации опубликованы в 17 статьях, из них 9 статей в научных журналах, входящих в перечень рецензируемых научных журналов и изданий ВАК РФ, 8 статей в журналах и научных изданиях, включенных в библиографические базы данных цитирования Web of Science и Scopus.

Статьи в журналах, входящих в перечень рецензируемых научных журналов и изданий ВАК РФ:

1. Данилов В.И., Горбатенко В.В., Зуев Л.Б., Орлова Д.В., Данилова Л.В. Исследование деформации Людерса в малоуглеродистой стали // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2017. – Т. 60, № 10. – С. 831-838.
2. Данилов В.И., Смирнов А.Н., Горбатенко В.В., Орлова Д.В., Данилова Л.В. Деформация Людерса в сварных соединениях // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2018. – Т. 61, № 2. – С. 128-134.
3. Данилов В.И., Горбатенко В.В., Зуев Л.Б., Данилова Л.В., Орлова Д.В. Автоволновая природа деформации стали с пластичностью, наведенной фазовым

превращением // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2019. – Т. 62, № 8 (740). – С. 33-38.

4. Данилов В.И., Горбатенко В.В., Орлова Д.В., Данилова Л.В. Автоволны переключения локализованной пластичности в условиях сверхэластичности // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2019. – Т. 16, № 3. – С. 309-314.

5. Данилов В.И., Горбатенко В.В., Данилова Л.В. Автоволны переключения в материалах с дислокационным и мартенситным механизмами пластичности // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2020. – Т. 63, № 6 (750). – С. 37-42.

6. Данилов В.И., Зуев Л.Б., Горбатенко В.В., Данилова Л.В., Орлова Д.В. Автоволновое описание пластичности материалов с нестабильной фазовой структурой на макромасштабном уровне // Журнал технической физики. – 2021. – Т. 91, № 2. – С. 267-274.

7. Данилов В.И., Горбатенко В.В., Данилова Л.В., Орлова Д.В. Особенности автоволн переключения локализованной пластичности в ГЦК-сплаве // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2021. – Т. 64, № 3. – С. 27–32.

8. Шляхова Г.В., Орлова Д.В., Данилов В.И., Данилова Л.В. Структура стали с метастабильным аустенитом после термомеханической обработки по различным режимам // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2021. – Т. 64, № 6. – С. 106-110.

9. Зуев Л.Б., Горбатенко В.В., Данилова Л.В. Модель пластической деформации и разрушения твердых тел // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2021. – Т. 64, № 9. – С. 48-53.

Статьи, индексируемые в библиографических базах данных Web of Science и Scopus:

1. Orlova D.V., Danilov V.I., Gorbatenko V.V., Danilova L.V., Shlyakhova G.V., Zuev L.B. The effect of preliminary thermomechanical processing on the kinetics of localized plasticity autowaves in trip steel // Metals. – 2020. – Vol. 10(11). – P. 1494.

2. Danilov V.I., Orlova D.V., Gorbatenko V.V., Danilova L.V., Zuev L.B. Kinetics of strain-induced phase transformation in TRIP steel // Materials Letters. – 2021. – Vol. 301 – P. 130289.

3. Danilov V.I., Orlova D.V., Gorbatenko V.V., Smirnov A.N., Ozhiganov Y.A, Danilova L.V. The nucleation, formation and propagation of Chernov-Lüders bands in welds having structure and phase inhomogeneity // AIP Conference Proceedings. – 2016. – Vol. 1783. – P. 020035.

4. Gorbatenko V.V., Orlova D.V., Danilova L.V., Danilov V.I. Fronts of strain-induced phase transformation and their kinetics // AIP Conference Proceedings. – 2017. – Vol. 1909. – P. 020059.

4. Danilov V.I., Orlova D.V., Gorbatenko V.V., Shlyakhova G.V., Danilova L.V., Zuev L.B. The effect of preliminary thermomechanical processing on the nature of deformation-induced phase transformation in TRIP steel // AIP Conference Proceedings. – 2019. – Vol. 2167. – P. 020066.

6. Danilov V.I., Orlova D.V., Gorbatenko V.V., Danilova L.V. Localized Plastic Deformation Autowaves under Superelasticity // AIP Conference Proceedings. – 2019. – Vol. 2167. – P. 020065.

7. Orlova D.V., Danilov V.I., Gorbatenko V.V., Danilova L.V., Zuev L.B. Kinetics of Lüders and Portevin–Le Chatelier bands in steel with strain-induced phase transformation / Zuev // AIP Conference Proceedings. – 2020. – Vol. 2310. – P. 020231.

8. Danilov V.I., Gorbatenko V.V., Danilova L.V., Zuev L.B., Orlova D.V. The kinetic parameters of switching autowaves // AIP Conference Proceedings. – 2020. – Vol. 2310. – P. 020068.

Апробация работы

Результаты работы докладывались и обсуждались на Международной конференции с элементами научной школы для молодежи «Современные технологии и материалы новых поколений» (Томск, 2017); Twenty-first Annual Conference YUCOMAT 2019 & Eleventh World Round Table Conference on Sintering WRTCS 2019 (Herceg Novi, Montenegro, 2019); Международной конференции "Иерархические материалы: разработка и приложения для новых технологий и надежных конструкций" и VIII Всероссийская конференция "Добыча, подготовка, транспорт нефти и газа" (Томск, 2019); Международной конференции «Физическая мезомеханика. Материалы с многоуровневой иерархически организованной структурой и интеллектуальные производственные технологии», посвященной 90-летию со дня рождения основателя и первого директора ИФПМ СО РАН академика В.Е. Панина (Томск, 2020); Twenty-two Annual Conference YUCOMAT 2021 (Herceg Novi, Montenegro, 2021); Международной конференции «Физическая мезомеханика. Материалы с многоуровневой иерархически организованной структурой и интеллектуальные производственные технологии (Томск, 2021).

Научная специальность диссертации

Анализ структуры и содержания диссертационной работы Даниловой Л.В. «Автоволновые процессы деформации Людерса и Портевена-Ле Шателье» показал, что содержание и полнота изложенного материала работы соответствует пункту 1 «Теоретическое и экспериментальное изучение физической природы свойств металлов и их сплавов, неорганических и органических соединений, диэлектриков и в том числе материалов световодов как в твердом, так и в аморфном состоянии в зависимости от их химического, изотопного состава, температуры и давления» паспорта специальности 1.3.8. – Физика конденсированного состояния, физико-математические науки. и всем требованиям Положения о присуждении ученых степеней ВАК.

Заключение принято на заседании экспертного научного семинара ИФПМ СО РАН. На заседании присутствовало 15 человек, из них: 8 докторов наук, 5 кандидатов наук. Результаты голосования: «за» – 15 человек, «против» – нет, «воздержались» – нет, протокол заседания № 69 от 10.09.2021 г.

Председатель семинара:
доктор физико-математических наук, доцент
ведущий научный сотрудник
лаборатории физики прочности

Баранникова Светлана Александровна

Секретарь семинара
кандидат физико-математических наук
научный сотрудник
лаборатории физики прочности

Орлова Дина Владимировна