Коновалов, Сергей Валерьевич. Закономерности влияния электромагнитных полей и токов на пластичность металлов и сплавов : диссертация ... доктора технических наук : 01.04.07 / Коновалов Сергей Валерьевич; [Место защиты: Сиб. гос. индустр. ун-т].- Новокузнецк, 2013.- 294 с.: ил. РГБ ОД, 71 14-5/32

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Сибирский государственный индустриальный университет» Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет»

На правах рукописи



05201350619

**Коновалов Сергей Валерьевич**

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ И ТОКОВ НА ПЛАСТИЧНОСТЬ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ**

01.04.07 - физика конденсированного состояния

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук

Научный консультант: Заслуженный деятель науки РФ д.ф.-м.н., профессор Громов В.Е.

Новокузнецк - 2013

**Оглавление**

**ВВЕДЕНИЕ 7**

1. **МОДИФИКАЦИЯ ФИЗИЧЕСКИХ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ, ПОДВЕРГАЮЩИХСЯ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ, ВНЕШНИМИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ВОЗДЕЙСТВИЯМИ 19**

Введение 19

* 1. Усталостное разрушение металлов и сплавов 19
     1. Периоды и стадии усталости 20
     2. Факторы, влияющие на усталость металлических материалов 22
     3. Влияние процессов, протекающих в металлах, на изменение структурно-фазовых состояний и дислокационных субструктур 23
  2. Закономерности, происходящие в металлах и сплавах при ползучести и релаксации напряжений 28
     1. Анализ процессов, происходящих при ползучести 28
     2. Изменение физических и механических свойств металлов при релаксации напряжений 29
  3. Модификация свойств материалов внешними энергетическими воздействиямиЗ 1
     1. Обработка токовыми импульсами 31
     2. Упрочнение поверхности металлов концентрированными потоками энергии 35
     3. Роль электрических и магнитных воздействий в изменении физических и механических свойств металлов и сплавов 38

1.4. Выводы и постановка задачи исследования 44

1. **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЙ 46**

Введение 46

* 1. Материалы для исследований 48
     1. Материалы для исследований на многоцикловую усталость 48
     2. Материалы для исследований на ползучесть и релаксацию напряжений 49

з

* 1. Оборудование для проведения испытаний 50
     1. Испытания на многоцикловую усталость 50
     2. Испытания на ползучесть и релаксацию напряжений 51
  2. Методики внешних энергетических воздействий 52
     1. Воздействие токовыми импульсами 52
     2. Приложение электрического потенциала и получение контактной разности потенциалов 52
     3. Воздействие магнитным полем 53
  3. Методы и методики исследований 54
     1. Методика измерения скорости ультразвука 54
     2. Методики исследований структуры и поверхности разрушения 54
     3. Определение параметров ползучести и релаксации напряжений 56
     4. Определение микро- и нанотвердости 57
     5. Статистическая обработка результатов 57

**3 ВЛИЯНИЕ СЛАБЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ИЗМЕНЕНИЕ ХАРАКТЕРА ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ**

**МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ 59**

1. Влияние слабых электрических потенциалов на изменение характера процесса ползучести 59
2. Влияние электрического потенциала на ползучесть металлов 59
3. Влияние контактных воздействий на ползучесть металлов 63
4. Фрактография алюминия, разрушенного в условиях ползучести при подведении слабого электрического потенциала 65
5. Роль электрического потенциала в изменении дефектной субструктуры алюминия в процессе ползучести 70
6. Дефектная субструктура исходного материала 70
7. Дефектная субструктура зоны разрушения (ползучесть без потенциала) 71
8. Дефектная субструктура зоны разрушения при ползучести с приложением электрического потенциала 73
9. Теоретический анализ влияния электрического потенциала на

дислокационную субструктуру алюминия 76

3.1.5 Влияние электрического потенциала на параметры локализации пластической деформации алюминия при ползучести 82

1. Исследование локализации пластической деформации при ползучести 82
2. Макролокализация пластической деформации при ползучести в условиях подведения электрического потенциала 88
3. Влияние слабых электрических потенциалов на изменение микро- и нанотвердости металлов и сплавов 90
4. Установление роли электрического потенциала в изменении

микротвердости металлов и сплавов 90

1. Влияние контактной разности потенциалов на микротвердость металлов и сплавов 94
2. Восстановление микротвердости при отключении от электрического потенциала 101
3. Влияние электрического потенциала на поверхностное натяжение.. 103
4. Анализ изменения нанотвердости металлов при варьировании масс

подключаемых металлов 106

1. Влияние электрического потенциала на изменение параметра

пластичности меди 109

1. Изменение характера релаксации напряжений алюминия, вызванное электрическими воздействиями 114
2. Изменение характеристик релаксации напряжений алюминия,

вызванное электрическим потенциалом 114

1. Релаксация напряжений алюминия при подключении разнородных металлов 120
2. Влияние электрического потенциала на изменение удельной поверхностной энергии 123
3. Влияние электрического потенциала на процесс перестройки дислокационных субструктур в алюминии при релаксации напряжений.. 125
4. Структура алюминия перед испытаниями 126
5. Структура алюминия после деформации 128
6. Природа влияния электрических потенциалов 135

Выводы по 3 разделу 140

1. **ВЛИЯНИЕ СЛАБЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА ИЗМЕНЕНИЕ ХАРАКТЕРА ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ**

**ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО АЛЮМИНИЯ 141**

* 1. Влияние слабого магнитного поля на ползучесть алюминия 141
  2. Изменение микротвердости технически чистого алюминия в постоянных магнитных полях 145
  3. Изменение микротвердости технически чистого алюминия в импульсных магнитных полях 150
  4. Влияние магнитного поля на тонкую структуру алюминия и поверхность разрушения 156
     1. Формирование дислокационной структуры алюминия при ползучести 156
     2. Фрактографический анализ алюминия, разрушенного при ползучести в условиях действия магнитного поля 159

Выводы по 4 разделу 162

1. **РОЛЬ ОБРАБОТКИ МОЩНЫМИ ТОКОВЫМИ ИМПУЛЬСАМИ В ФОРМИРОВАНИИ СТРУКТУРНО-ФАЗОВОГО ГРАДИЕНТА**

**АУСТЕНИТНОЙ СТАЛИ ПРИ МНОГОЦИКЛОВОЙ УСТАЛОСТИ 163**

Введение 163

* 1. Структурно-фазовое состояние исходной стали 164
  2. Структурно-фазовый градиент, формирующийся в стали, деформированной в

условиях многоцикловой усталости 166

1. Структурно-фазовый градиент, формирующийся в стали, разрушенной в условиях многоцикловой усталости 173
2. Структурно-фазовый градиент, формирующийся при токовой обработке стали, деформированной в условиях многоцикловой усталости 182
3. Структурно-фазовый градиент, формирующийся в обработанной токовыми импульсами на промежуточном этапе нагружения стали, разрушенной в условиях многоцикловой усталости 187
4. [Выводы 195](#bookmark20)

**6 РЕАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ И НАПРАВЛЕНИЯ ИХ**

**ПРАКТИЧЕСКОГО ВНЕДРЕНИЯ 197**

[**ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ 224**](#bookmark22)

**ЛИТЕРАТУРА 227**

**ПРИЛОЖЕНИЯ 281**

Приложение А 282

Приложение Б 283

Приложение В 284

Приложение Г 285

Приложение Д 286

Приложение Е 287

Приложение Ж 289

Приложение И 290

Приложение К 293

Приложение Л 294

**ВВЕДЕНИЕ**

**Актуальность работы.** В процессе эксплуатации конструкции, изделия, детали машин подвергаются механическим нагрузкам, что необратимо приводит к постепенному их разрушению в связи с исчерпанием ресурса. Исследователи анализировали все виды пластической деформации для материалов из сталей и сплавов различных структурных классов, а также чистых металлов, находящихся как в поликристаллическом, так и монокристаллическом состояниях. Были получены уникальные данные, позволяющие объяснить разрушение изделий, но вопрос о возможности варьирования срока службы материала и увеличении его ресурса так и не был решен.

В настоящий момент времени предложен ряд способов модификации физических и механических свойств металлических материалов. Особое место при этом занимают внешние энергетические воздействия. Одними из таких методов являются воздействие импульсами электрического тока, электрическими и магнитными полями, контактные воздействия. Однако, физическая природа влияния этих воздействий на металлы и сплавы в процессе пластической деформации до сих пор изучена недостаточно.

Исследование пластической деформации при внешних энергетических воздействиях началось в 60-х годах XX века. В настоящее время установлено влияние электрических и магнитных полей на металлы и сплавы, находящиеся в монокристаллическом состоянии. Изменение процесса ползучести и микротвердости поверхности монокристаллических металлов, подвергающихся внешним энергетическим воздействиям, исследовалось научной группой под руководством академика Кишкина С.Т. и профессора Клыпина А.А. Влияние магнитных полей на изменение физических и механических свойств монокристаллических материалов изучено в работах профессоров Ю.И. Головина, В.И. Альшица и др. Выполнен комплекс исследований, посвященных изучению влияния магнитного поля на пластическую деформацию немагнитных

кристаллов, и установлено, что влияние магнитного поля заключается в уменьшении внутреннего трения, микротвёрдости и предела текучести. Еще одним хорошо изученным видом внешних энергетических воздействий является токовая импульсная обработка, исследование влияния которой на прочность и пластичность материалов проводились и проводятся в коллективах под руководством профессоров О.А. Троицкого, В.Е. Громова, И.И. Новикова, И.А. Батаронова, Н.Н. Беклемишева и др. Воздействие токовыми импульсами на металлические материалы, приводящее к существенному изменению их физико­механических свойств, несомненно, может быть полезным с прикладной точки зрения для восстановления ресурса металлических деталей, подвергающихся усталостным нагрузкам.

Практическое применение внешних энергетических воздействий в настоящее время сдерживается тем, что исследование их роли в эволюции свойств и структуры выполнено на материалах, находящихся в монокристаллическом, идеальном, состоянии. В то же время основное количество реальных изделий, реализуемых в народном хозяйстве, находится в поликристаллическом состоянии. Это в полной мере относится к алюминиевым и медным сплавам, изделия из которых находят разнообразное применение.

В литературе отсутствуют систематизированные сведения о влиянии слабых электрических потенциалов, контактных воздействий, слабых магнитных полей и мощных токовых импульсов на поликристаллические материалы, подвергающиеся пластической деформации. Это находит отражение в отставании внедрения в соответствующие циклы российского производства данных технологий, способных принести государству значительный экономический эффект.

Вышеотмеченное определяет **актуальность** работы.

**Цель и задачи исследования.** Целью работы явилось установление закономерностей и физической природы влияния электрических, магнитных полей и токов на формирование и эволюцию структуры и фазового состава металлов и сплавов при пластической деформации.

Для достижения цели были поставлены и решены следующие задачи:

а) исследование влияния слабых электрических потенциалов на процессы ползучести, релаксации напряжений, микротвердость, эволюцию дефектной субструктуры алюминия и меди;

б) установление закономерностей влияния контактной разности потенциалов, создаваемой подключением к исследуемому материалу других металлов, на процессы ползучести, релаксации напряжений, микро- и нанотвердость алюминия и меди;

в) установление влияния слабого постоянного и импульсного магнитных полей на процесс ползучести, тонкую структуру, поверхность разрушения и микротвердость алюминия;

г) установление физических механизмов влияния слабых электрических потенциалов, контактной разности потенциалов и слабых магнитных полей на формирование и эволюцию структуры и фазового состава металлов и сплавов при различных видах пластической деформации;

д) выявление природы формирования градиентных структурно-фазовых состояний при многоцикловой усталости в условиях обработки мощными токовыми импульсами.

**Научная новизна** состоит в определении возможности управления с помощью подведения электрического потенциала до 5 В и контактной разности потенциалов, создаваемой подключением к исследуемому металлу циркония, алюминия, меди, титана, железа, свинца, вольфрама, ползучестью, релаксацией напряжений, нано- и микротвердостью, пластичностью алюминия и меди. Установлена минимальная масса контактирующего металла, приводящая к максимальному изменению микро- и нанотвердости алюминия и меди. Впервые установлены закономерности влияния постоянного (В<0,3 Тл) и импульсного (В<1,14 Тл) магнитного поля на скорость ползучести и микротвердость поликристаллического алюминия. Впервые установлены закономерности изменения тонкой структуры и поверхности разрушения алюминия, подвергаемого испытаниям на ползучесть и релаксацию напряжений при подведении электрического потенциала и при воздействии магнитным полем. Методами сканирующей и просвечивающей электронной дифракционной микроскопии впервые показано, что в процессе многоцикловой усталости и токовой импульсной обработки аустенитной стали 45Г17ЮЗ формируются градиентные структурно-фазовые состояния. Установлены закономерности и механизмы их образования.

**Практическая значимость** выполненных в диссертационной работе исследований заключается в установлении возможности варьирования структуры, физических и механических свойств металлических изделий, подвергающихся пластической деформации, внешними энергетическими воздействиями. Накоплен банк данных о поведении алюминия, меди, сталей и сплавов при действии слабых электрических потенциалов и магнитных полей, мощных токовых импульсов и импульсной электронно-пучковой обработки. Влияние электрических потенциалов на свойства металлов и сплавов, подвергающихся пластической деформации, можно использовать для разработки технологий управления процессами обработки давлением путем подведения электрических потенциалов или создания контактной разности потенциалов в контактных парах. Результаты работы способствуют пониманию физической природы влияния внешних энергетических воздействий на физические и механические свойства металлов и сплавов и могут быть использованы в курсах лекций университетов и институтов по дисциплинам «Физика конденсированного состояния» и «Физическое материаловедение». Результаты работы позволяют сформулировать рекомендации по внедрению технологий внешних энергетических воздействий, увеличивающих ресурс изделий, работающих в режимах ползучести, релаксации напряжений, усталости, в промышленность.

**Реализация результатов работы заключается в следующем:** в ООО «Лазурит» выполнена электрическая изоляция образцов, подвергаемых микроиндентированию, от предметного столика микротвердомера, что существенно уменьшило разброс численных данных; в Научно- исследовательском институте электронно-механических приборов результаты

работы использованы при отработке режимов термоэлектрической тренировки гибридных интегральных схем цифро-аналоговых преобразователей и аналого- цифровых преобразователей, в процессе изготовления прецизионных тонкопленочных наборов резисторов типов HP 1-60, HP 1-5 5 и HP 1-53 и при апробировании процедуры сварки алюминиевых проводников с помощью ультразвука; в ООО «Сибирские промышленные технологии» в цикл производства кабельно-проводниковой продукции добавлена операция по обработке заготовок магнитным полем, увеличившая выход готового продукта (плановый экономический эффект 2 млн. руб. в год (в ценах 2012 г)); в ООО «Ремкомплект» использован генератор токовых импульсов для увеличения экономической эффективности работы трехвальцовых машин для гибки листового проката с экономическим эффектом 3,5 млн. руб. в год (в ценах 2012 г.); в ООО «Проектгидроуголь-Н» и ООО «Научно-производственное объединение «Гидроуголь» использована электроимпульсная обработка сварных композиций твердосплавных резцов в кулачке конической головки комбайна ГПКС в процессе эксплуатации в условиях ОАО «Шахта им. Ф.Э. Дзержинского» ОАО УК «Прокопьевскуголь», что увеличило срок службы деталей и сократило межремонтный период (экономический эффект составил 3 млн. руб. в год (в ценах 2011 года) (ООО «Проектгидроуголь-Н») и 5,72 млн. руб. (в ценах 2006г.) (ООО «Научно-производственное объединение «Гидроуголь»); в ОАО «Шахта «Большевик» в 2007-2012 гг. разработаны и освоены технология восстановления методом токовой импульсной обработки усталостного ресурса элементов крана- перегружателя для перегрузки горных пород, что увеличило технологический цикл крана-перегружателя в 1,4 раза (экономический эффект составил 5 млн. рублей в год (в ценах 2012 г.); в ОАО «Новокузнецкий металлургический комбинат» и ОАО «ЕВРАЗ Объединенный Западно-Сибирский

металлургический комбинат» использован генератор мощных токовых импульсов для обработки током пуансонов для прошивки отверстий в накладках и подкладках для железнодорожных рельсов с экономией от увеличения выпуска продукции и снижения себестоимости продукции (суммарный экономический эффект с 2006 по 2012 гг. составил 25,5 млн. руб. при долевом участии автора 3,82 млн. руб.); разработана база данных, зарегистрированная в государственном реестре, которая позволяет прогнозировать микротвердость технически чистого алюминия в магнитном поле и обеспечивает накопление и подготовку исходных данных, требующихся для создания новых технологических процессов обработки магнитным полем при производстве различных видов металлической продукции; результаты работы внедрены в учебный процесс в виде лабораторных работ в курсе физики для студентов начальных курсов, изучающих явление электромагнетизма.

Внедрение результатов работы в производство и учебный процесс подтверждается соответствующими актами и справками о внедрении.

**Достоверность полученных результатов** обусловлена большим объемом экспериментальных данных, сравнением результатов между собой и с результатами других авторов, использованием для их анализа хорошо апробированных методик.

**Основные положения, выносимые на защиту:**

1. совокупность экспериментальных данных по влиянию электрических потенциалов на скорость ползучести на установившейся стадии поликристаллических алюминия и меди; скорость движения очагов деформации, длину волны, микротвердость алюминия, меди и кремнистого железа, активационный объем алюминия, параметры тонкой структуры при ползучести и релаксации напряжений алюминия, размер ямок вязкого излома при ползучести алюминия, параметры релаксации напряжений алюминия и их физическая интерпретация.
2. совокупность экспериментальных данных по влиянию контактной разности потенциалов, создаваемой при подключении Sn, Си, Zr, Al, Ni, Ті, Fe, Pb на скорость ползучести на установившейся стадии поликристаллических алюминия и меди, их микротвердость и нанотвердость, параметры релаксации напряжений алюминия и их физическая интерпретация.
3. экспериментально установленные закономерности влияния слабого магнитного поля (В<0,3 Тл) на процесс ползучести и микротвердость алюминия, заключающиеся в: знакопеременном характере зависимости относительного изменения скорости ползучести алюминия от индукции постоянного магнитного поля с максимумом при В ~ 0,05 Тл; увеличении скалярной плотности дислокаций и плотности дислокационных петель; уменьшении среднего размера ямок вязкого излома; линейном снижении микротвердости алюминия при воздействии постоянным магнитным полем, начиная с порогового значения В = 0,1 Тл, ниже которого эффект не проявляется;
4. экспериментальные результаты, показывающие, что многоцикловые усталостные испытания и промежуточная токовая импульсная обработка аустенитной стали, обеспечивающая повышение усталостного ресурса в 1,7 раза, приводят к формированию градиентных структурно-фазовых состояний, заключающихся в зависимости от расстояния до поверхности разрушения объемных долей дислокационных субструктур, скалярной плотности дислокаций и амплитуды кривизны-кручения кристаллической решетки. **Апробация результатов исследования.** Результаты диссертации

представлялись и обсуждались на следующих научных конференциях, совещаниях и семинарах: European conference «Junior Euromat». Lausanne. Switzerland, 2000; II - V Международных конференциях «Микромеханизмы пластичности, разрушения и сопутствующих явлений». Тамбов, 2000, 2003, 2010; IV, V Международных конференциях по электромеханике, электротехнологии и электроматериаловедению. Москва, Клязьма, Алушта, 2000, 2003; V собрании металловедов России. Краснодар, 2001; IV Международной конференции «Научно-технические проблемы прогнозирования надежности и долговечности конструкций и методы их решения». Санкт-Петербург, 2001; Международных семинарах «Структурные основы модификации материалов методами нетрадиционных технологий». Обнинск. 2001, 2003, 2009, 2011; I, III, V Всероссийских научно-технических конференциях «Физические свойства металлов и сплавов». Екатеринбург, 2001, 2005, 2009; 7th European Conference on Advanced Materials and Processes. Rimini. Italy. 2001; Международных конференциях по физической мезомеханике, компьютерному конструированию и разработке новых материалов. Томск. 2001, 2009; VI Sino-Russian International Symposium on new materials and technologies «New Materials and Technologies in 21st Century» Beijing. China. 2001; 38, 39, 42, 48 Международных семинарах «Актуальные проблемы прочности». Санкт-Петербург, 2001, Черноголовка, 2002, Калуга, 2004; V, VI Международных семинарах «Современные проблемы прочности» им. В.А. Лихачева. Старая Русса, 2001, 2003; Бернштейновских чтениях по термомеханической обработке металлических материалов”. Москва, 2001, 2006, 2009, 2011; XV, XVI, XVIII, XX Уральских школах металловедов- термистов. Екатеринбург, 2000, Уфа, 2002. Тольятти, 2006, Екатеринбург, 2010; XVI, XVII, XIX, XX Петербургских чтениях по проблемам прочности, С.-Петербург, 2005, 2007, 2010, 2012; III - V Евразийских научно-практических конференциях "Прочность неоднородных структур". Москва, 2006, 2008, 2010; Всероссийском научном семинаре «Действие электрических полей и магнитных полей на объекты и материалы». Москва, 2002; VI Всероссийской научно-практической конференции «Современные технологии в машиностроении», Пенза, 2003; VII Международной школе-семинаре «Эволюция дефектных структур в конденсированных средах». Барнаул, 2003; China-Russia Seminar on Materials Physics Under Ultra-conditions. Qinhuangdao, China, 2003; III, IV, VI Международных конференциях «Фазовые превращения и прочность кристаллов», Черноголовка, 2004, 2006, 2010; International conference of fatigue damage of structural materials V, США. 2004; Symposium of Croatian metallurgical society “Materials and Metallurgy” Opatia. Croatia, 2002; 11th International Metallurgical & Materials Conference METAL. Ostrava. Czech Republic, 2002; V, VII Международных конференциях «Действие электромагнитных полей на пластичность и прочность материалов», 2003, 2007, Воронеж; XV, XVII Международной конференции «Физика прочности и пластичности материалов». Тольятти, Самара, 2003, 2009; Международной конференции «Электрические

контакты и электроды ЭК-2007», Киев, 2007; Всероссийских научных конференциях студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения», Новокузнецк, 2007, 2008; IX, X Международных научно-технических Уральских школах-семинарах металловедов-молодых ученых. Екатеринбург, 2008, 2009; V, VI Всероссийских конференциях «Механика неоднородных материалов и разрушение», Екатеринбург, 2008, 2010; IV, V Всероссийских конференциях молодых ученых “Физика и химия высокоэнергетических систем”, Томск, 2008, 2009; II Международном российско- китайском семинаре «Влияние электромагнитных полей на структуру и характеристики материалов». Москва. 2009; III, IV международных конференциях «Деформация и разрушение материалов и наноматериалов». Москва, 2009, 2011; VII Международной научно-практической конференции «Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности», С.-Петербург, 2009; VII Российской ежегодной конференции молодых научных сотрудников и аспирантов, Москва, 2010; Международной научно-технической конференции «Современное материаловедение и нанотехнологии», Комсомольск-на-Амуре, 2010; IV, V Российских научно-технических конференциях «Ресурс и диагностика материалов и конструкций». Екатеринбург, 2009, 2011; Международных

симпозиумах «Перспективные материалы и технологии». Витебск, 2009, 2011; IV Международной школе «Физическое материаловедение». Тольятти, 2009; I, II московских чтениях по проблемам прочности материалов. Москва, 2009, 2011; 14 - 16 Всероссийских научных конференциях студентов физиков и молодых ученых. Екатеринбург, Кемерово, Волгоград, 2008 - 2010; XI Международной научной школы для молодежи «Материаловедение и металлофизика легких сплавов». Екатеринбург, 2010; Всероссийских конференциях «Деформирование и разрушение структурно-неоднородных сред и конструкций», Новосибирск, 2006, 2011; 44, 45, 48, 49, 50 Международных конференциях «Актуальные проблемы прочности», Вологда, 2005, Белгород. 2006, Тольятти, 2009, Киев, 2010, Витебск, 2010; International conference «Fundamental Aspects of External Fields Action on Materials», Shenzhen, China, 2010; VI Российской научно-технической конференции «Механика микронеоднородных материалов и разрушение», Екатеринбург, 2010; Международной научно-технической конференции «Прочность материалов и элементов конструкций», Киев, 2010; XVII Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых «Современные техника и технологии», Томск, 2011; V Международной школе «Физическое материаловедение», Тольятти, 2011.

Настоящая работа проводилась в соответствии с грантами Министерства образования РФ по фундаментальным проблемам металлургии на 1998-2002 г., Лаврентьевским конкурсом молодежных проектов СО РАН 2006-2007 гг., Аналитической ВЦП "Развитие научного потенциала высшей школы на 2009- 2011 гг. (проекты 2.1.2/546, 13482), ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 гг.» (госконтракты №№ П332, П411, 14.740.11.0813, 02.740.11.0538, 16.740.11.0314, 14.740.11.0037, соглашения №№ 14.В37.21.0071, 14.В37.21.1166, 14.В37.21.0391), темами ФГБОУ ВПО

«Сибирский государственный индустриальный университет», грантами РФФИ №№ 11-02-91150-ГФЕН\_а, 07-08-92100-ГФЕН\_а, 08-02-00024-а, 08-02-12012-офи, 07-08-90808-моб\_ст.

**Личный вклад автора.** Основные исследования, результаты которых

представлены в диссертации, выполнены по инициативе и под руководством

автора. Статьи по теме диссертации написаны автором после обсуждения результатов с соавторами работ. Анализ и интерпретация полученных резуль­татов, формулировка научных положений, выносимых на защиту, выполнены лично автором данной диссертации. В совместных работах, выполненных в соавторстве, автор лично участвовал в проведении теоретических и

экспериментальных исследований и их обсуждении.

**Соответствие диссертации паспорту специальности.** Диссертационная работа по своим целям, задачам, содержанию, методам исследования и научной новизне соответствует п.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» и п. 6 «Разработка

экспериментальных методов изучения физических свойств и создание физических основ промышленной технологии получения материалов с определенными свойствами» паспорта специальности 01.04.07 - «Физика конденсированного состояния» (технические науки).

**Публикации.** Всего по теме диссертации опубликовано 3 коллективные монографии, 31 статья в журналах из перечня ВАК, тезисы более 40 докладов на конференциях, семинарах, симпозиумах, совещаниях, школах и чтениях, получены 3 патента на изобретение, 1 свидетельство о государственной

регистрации программы для ЭВМ и 1 свидетельство о государственной

регистрации базы данных.

Список основных публикаций приведен в конце автореферата.

**Структура и объем работы.** Диссертация включает в себя введение, **6** разделов, заключение и приложения, написана на 294 страницах, содержит 103 рисунка, 11 таблиц, 10 приложений, список литературы состоит из 470

наименований.

Идеи и научные разработки, результаты научных исследований, изложенные в настоящей диссертации, являются итогом коллективной научной работы. Они были получены и опубликованы в открытой печати в соавторстве с доктором физико-математических наук, профессором В.Е. Громовым (разделы 3 - 6), доктором физико-математических наук, профессором Л.Ю. Зуевым (раздел 3), доктором физико-математических наук, профессором В.И. Даниловым (раздел 3), доктором физико-математических наук, профессором, в.н.с. Ю.Ф. Ивановым (разделы 2 - 5), кандидатом технических наук, доцентом Р.А. Филипьевым (раздел 3), кандидатом технических наук, доцентом Д.В. Загуляевым (разделы 4,

1. , а также в соавторстве и в результате работы с другими коллегами, в разное время занимавшимися научной работой в ФГБОУ ВПО «СибГИУ», ФГБОУ ВПО «НИ ТГУ», ФГБОУ ВПО «ТГАСУ», ИФПМ СО РАН, что подтверждается литературными ссылками на источники из перечня библиографического списка.

Автор считает своим приятным долгом выразить признательность и глубокую благодарность за полезные обсуждения, критические замечания и постоянную поддержку научному консультанту доктору физико-математических наук, профессору В.Е. Громову, докторам физико-математических наук, профессорам Л.Б. Зуеву, В.И. Данилову, Ю.Ф. Иванову, Э.В. Козлову, Н.А. Коневой, Е.А. Будовских, а также кандидатам наук, доцентам Р.А. Филипьеву, Д.В. Загуляеву, Н.В. Котовой, В.В. Коваленко, В.А. Петрунину, О.А. Столбоушкиной, С.А. Невскому.

**ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ**

В работе методами современного физического материаловедения (оптическая, сканирующая и просвечивающая электронная микроскопия) выявлены закономерности влияния слабых (электрические потенциалы, контактная разность потенциалов и магнитные поля) и сильных (мощные токовые импульсы) внешних энергетических воздействий на процессы пластической деформации (ползучесть, релаксация напряжений, процесс микро- и наноиндентирования, многоцикловая усталость) металлов (алюминий, медь) и сплавов (кремнистое железо, аустенитная сталь). При этом:

1. Установлено, что приложение слабого электрического потенциала (до 5 В) и контактной разности потенциалов (при подключении Pb, Fe, Си, Al, Cr, Zr, Ni, Ті) к алюминию и меди, подвергаемым испытаниям на ползучесть и релаксацию напряжений, влияет на эти процессы, существенно изменяя скорости ползучести и спада напряжений. Причем, эффект подключения электрического потенциала, задаваемого электрическим источником (максимальное изменение относительной скорости ползучести Q алюминия наблюдается при ср=-0,5 В (Q=l,176) и при ползучести Си при ф=-0,7 В (Q=0,877)), более сильно выражен, чем при создании контактной разности потенциалов (максимальное изменение относительной скорости ползучести А1 наблюдается при Дф=-0,25 В (Q=0,30) и при ползучести Си при Дф=0,45 В (0=0,09)).
2. Установлено, что подведение электрического потенциала изменяет микротвердость алюминия, меди, циркония и др. металлов. Обнаружена зависимость микротвердости от величины подводимого электрического потенциала. Показано, что существуют зависимости микро- и нанотвердости металлов от массы подключаемых к ним металлов с другой работой выхода. Установлен экстремальный характер зависимости, индивидуальный для каждой конкретной пары металлов. Максимальный эффект увеличения микротвердости наблюдается при подключении Sn (m=0,933 кг) к А1 (Q=0,16).
3. Показано, что подведение электрического потенциала 1 В к алюминию, подвергаемому ползучести и релаксации напряжений, активизирует перестройку дислокационной субструктуры, а также уменьшает средний размер ямок вязкого излома в зоне среза с 1,53 мкм до 1,17 мкм.
4. При интерпретации установленных эффектов на основе анализа изменения поверхностного натяжения твердых тел выявлена квадратичная зависимость работы образования поверхности металла от электрического потенциала, что объясняет независимость эффектов от знака электрического потенциала. Установлено, что влияние подключаемых металлов на ползучесть, релаксацию напряжений, микро- и нанотвердость связано с типом их проводимости и значениями постоянной Холла для основного и присоединяемого металлов. Показано, что в основе наблюдаемых эффектов влияния электрических потенциалов лежат электростатические явления, обусловленные перераспределением электронов в приповерхностном слое металла.
5. Установлено немонотонное влияние постоянного магнитного поля при В<0,30 Тл на скорость ползучести алюминия, причем максимальный эффект Q=0,55 обнаружен при В=0,07 Тл, а минимальный Q=-0,57 при В=0,3 Тл.
6. Обнаружен эффект восстановления значений микротвердости алюминия до первоначальных значений при отключении как постоянного, так и импульсного магнитных полей. Зависимость микротвердости от времени, прошедшего после отключения магнитного поля, подчиняется экспоненциальному закону. Показано, что существует критическое значение магнитной индукции Вп = 0,10 Тл, ниже которого влияние магнитного поля на микротвердость не проявляется.
7. Показано, что магнитное поле В=0,30 Тл способствует развитию рельефа поверхности разрушения алюминия при ползучести с меньшими размерами (средний размер ямок вязкого излома d=l,5 мкм) по сравнению с испытаниями без него (средний размер ямок вязкого излома d=3,4 мкм) и инициирует увеличение с 1,65-1010 см**'2** до 2,20-Ю**10** см**'2** скалярной плотности дислокаций, образующих, преимущественно, хаотическую дислокационную структуру, а также ускоряет процесс образования дислокационных петель.
8. На основе сравнительного анализа полученных результатов и теоретических представлений показано, что наиболее вероятным механизмов влияния постоянного и импульсного магнитных полей на пластичность поликристаллического алюминия является активизация движения дислокаций за счет уменьшения энергетического барьера их закрепления на парамагнитных центрах в алюминии.
9. Установлено, что модификация зеренной структуры и дефектной субструктуры аустенитной стали при усталостных испытаниях и токовой импульсной обработке носит объемный характер, приводит к формированию градиентной структуры, выявляемой на макро-, мезо- и микромасштабных уровнях и увеличивает число циклов до разрушения в 1,7 раза.

Ю.Методы воздействия электрическими потенциалами, магнитными полями и токовыми импульсами использованы в приборостроительной, металлургической и горнодобывающих отраслях промышленности в технических и технологических решениях, обеспечивших экономию материальных и экономических ресурсов. Суммарный годовой эффект от использованных технических и технологических решений составил 44,7 млн. руб.,' в том числе доля автора 6,7 млн. руб. Полученные в диссертации результаты внедрены в учебном процессе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванова, В. С. Усталостное разрушение металлов [Текст] / В. С. Иванова. - М.

: Металлургиздат, 1963. - 272 с.

1. Иванова, B.C. Природа усталости металлов [Текст] / В. С. Иванова, В. Ф. Терентьев. - М. : Металлургия, 1975. - 455 с.
2. Кеннеди, А. Д. Ползучесть и усталость в металлах [Текст] /А. Д. Кеннеди. - М.: Металлургия, 1965. - 312 с.
3. Коллакот, Р. Диагностика повреждений [Текст] / Р. Коллакот. - М. : Мир, 1989. -516с.
4. Крауткремер, И. Ультразвуковой контроль материалов [Текст] / И. Крауткремер, Г. Крауткремер. - М.: Металлургия, 1991. - 752 с.
5. Сопротивление материалов деформированию и разрушению [Текст]: в Зт. / под ред. В.Т. Трощенко. - Киев : Наукова думка, 1994. -Т.1. - 702 с.
6. Терентьев, В. Ф. Циклическая прочность металлических материалов [Текст] /

В. Ф. Терентьев, А. А. Оксогоев. - Н. : Изд-во НГТУ, 2001. - 80 с.

1. Терентьев, В. Ф. Механические свойства металлических материалов при статическом нагружении [Текст] / В. Ф. Терентьев, А. Г. Колмаков. - Воронеж : Изд-во ВГУ, 1998.-80 с.
2. Сопротивление усталости. Основные термины, определения и обозначения [Текст]: ГОСТ **23.207-78.М.** - М. : Издательство стандартов, **1981.** - **14** с.

Ю.Доможиров, Л. И. Обобщенное уравнение для оценки влияния трещин на предел выносливости материалов [Текст] / Л. И. Доможиров // Заводская лаборатория. - 1995. - №10. - С. 27 - 31.

1. Иванова, В. С. Синергетика и фракталы в материаловедении [Текст] / B.C. Иванова [и др.]. - М.: Наука, 1994. - 585 с.
2. Коцаньда, С. Усталостное растрескивание металлов [Текст] / С. Коцаньда; под ред. С.Я. Яремы. - М. : Металлургия, 1990. - 623 с.
3. Металлы. Метод испытания на многоцикловую и малоцикловую усталость

[Текст]: ГОСТ 23.026 - 78. - М. : Издательство стандартов, 1978. - 21 с.

1. Методы механических испытаний металлов. Методы испытаний на усталость [Текст]: ГОСТ 25.502 - 79. - М. : Издательство стандартов, 1986. - 19 с.
2. Механика разрушения и прочность материалов [Текст]: справочное пособие / под ред. В. В. Панасюка. - Киев : Наукова думка, 1990. -Т.4. - 680 с.
3. Миллер, К. Ж. Усталость металлов - прошлое, настоящее и будущее [Текст] / К. Ж. Миллер // Заводская лаборатория. - 1994. - №3. - 544 с.
4. Сопротивление усталости металлов и сплавов. Справочник [Текст]: в 2 т. / под ред. В. Т. Трощенко. - Киев: Наукова думка, 1987. - Т. 2. - 347 с.
5. Циклические деформации и усталость металлов [Текст] / под ред. В. Т. Трощенко. - Киев: Наукова думка, 1985. - 562 с.
6. Панин, В. Е. Основы физической мезомеханики [Текст] / В. Е. Панин // Физическая мезомеханика. - 1998.-№1.-С. 5-22.
7. Иванова, В. С. Синергетика и фракталы в радиационном материаловедении [Текст] / В. С. Иванова. - М. : Интерконтакт Наука, 1997. - 53 с.

21 .Шанявский, А. А. Предел усталости и выносливости как характеристики материала или элемента конструкции с позиций синергетики [Текст] / А. А. Шанявский, М. А. Артамонов // Физическая мезомеханика. - 2004. - № 7. - Вып. 2.-С. 25 -33.

1. Новиков, И. И. Об анализе деформационных кривых металлов [Текст] / И. И. Новиков, В. А. Ермишкин // Металлы. - 1995. - № **6**. - С. 142 - 154.
2. Терентьев, В. Ф. Стадийность процесса усталостного разрушения металлических материалов [Текст] / В. Ф. Терентьев // Металлы. - 1996. - № **6**. -С. 14-20.
3. Терентьев, В. Ф. Модель физического предела усталости металлов и сплавов [Текст] / В. Ф. Терентьев // Доклады академии наук СССР. Серия «Техническая физика». - 1969. - Т. 185. -№ 2. - С. 324 - 326.
4. Терентьев, В. Ф. Усталость высокопрочных сталей [Текст] / В. Ф. Терентьев // Деформация и разрушение материалов. Ч. 1. Корреляция с пределом прочности, вид кривых усталости и зарождение трещин - 2006. - № **8**. - С. 2 -

**11.**

1. Синергетика и усталостное разрушение металлов [Текст] / под ред. B.C. Ивановой. - М.: Наука, 1989. - 246 с.
2. Терентьев, В. Ф. К вопросу о негомогенности протекания деформации в начальной стадии циклического нагружения армко-железа [Текст] /В. Ф. Терентьев, К. К. Хольсте // Проблемы прочности. - 1973. - № 11. - С. 3 - 10.
3. Савкин, А. Н. Оценка долговечности углеродистой стали 45 в переходной области усталости с учетом механизма квазистатической и усталостной повреждаемости [Текст] / А. Н. Савкин, В. И. Водопьянов, О. В. Кондратьев // Известия Волгоградского государственного университета. Серия: Проблемы материаловедения, сварки и прочности в машиностроении. - 2007. - № 3 (29). -

С. 105-110.

1. Ботвина, J1. Р. Общие закономерности процессов разрушения и кристаллизации [Текст] / JI. Р. Ботвина // МиТОМ. - 1994. - № **8**. - С. 2 - **6**.
2. Владимиров, В. И. Физическая природа разрушения металлов [Текст] / В. И. Владимиров. - М. : Металлургия, 1984. - 280 с.
3. Корнев, В. М. Двухмасштабная модель малоцикловой усталости. Переход от квазивязкого разрушения к хрупкому [Текст] / В. М. Корнев // Деформация и разрушение материалов. - 2008. - № 2. - С. 2 - 12.
4. Демешкин, А. Г. Малоцикловая усталость образцов с краевой трещиной из сталей с разными степенями предварительного деформирования [Текст] / А. Г. Демешкин, Е. В. Карпов, В. М. Корнев // Физическая мезомеханика. - 2009. - Вып. 12.-С. 91-99.
5. Тялин, Ю. И. Дислокационная структура, формируемая при остановке и залечивании трещин скола в щелочно-галоидных кристаллах [Текст] / Ю. И. Тялин, В. А. Тялина // Вестник ТГУ. - 2009. - Т. 14. - Вып. 5. - С. 1110-1114.

**і**

34.3авойчинская, Э. Б. Об одной гипотезе микроразрушения металлов при полигармоническом нагружении [Текст] / Э. Б. Завойчинская // Проблемы машиностроения и надежности машин. - 2009. - № 3. - С. 27 - 34.

1. Glasov, М. Self-organized dislocation structures (SODS) in fatigue metals [Text] / M. Glasov, L. M. Llanes, C. Laird // Phys. Stat. Sol.(a). - 1995. - V. 149. - P. 297.
2. Wilkinson, A. J. Modeling the threshold conditions for propagation of stage I fatigue cracks [Text] / A. J. Wilkinson, S. G. Roberts, H. B. Hirsch // Acta mater. - 1998. - Vol. 46.-P. 379-390.
3. Davidson, D. L. Fatigue crack growth in metals and alloys: mechanisms and micromechanics [Text] / D. L. Davidson, J. Lankford // International Materials Reviews. - 1992. - Vol. 37. - № 2. - P. 45 - 76.
4. Mughrabi, H. Cyclic deformation and fatigue of selected fem-tie and austenitic steels; specific aspects [Text] /Н. Mughrabi, H.-J. Christ // ISU International. - 1997. -Vol. 37. -№ 12.-P. 1154- 1169.
5. Mugrabi, H. Dislocations in fatigue. In Dislocation and Properties of Real Materials (Conf. Proc.) [Text] /Н. Mugrabi. - London: The Institute of Metals. - 1985. - № 323 - P. 244-262.

40.0ksogoev, A. A. The surface Layer Role in Energy Dissipation [Text] / A. A. Oksogoev // Adv.mater. and proc.: Fundamental Problems of Developing Advanced Materials and Processes of the XXI Century. AMP'99. Baikalsk. - 1999. - P. 90 -

91.

41.Завойчинская, Э. Б. Надежность, прочность, износостойкость машин и конструкций [Текст] / Э. Б. Завойчинская // Проблемы машиностроения и надежности машин. - 2010. - №1. - С. 43 - 52.

1. Плешанов, В. С. Многоцикловая усталость соединенных внахлест пластин алюминиевого сплава на мезоуровне [Текст] / В. С. Плешанов, В. Е. Панин, В.

В. Кибиткин // Физическая мезомеханика. - 2003. - № **6**. - Вып. **6**. - С. 77 - **86**.

1. Коршунов, Л. Г. Влияние интенсивной пластической деформации на микроструктуру и трибологические свойства баббита Б83 [Текст] / Л. Г.

Коршунов [и др.] // Физика металлов и металловедение. - 2009. - Т. 108. - № 5. -С. 551 -559.

1. Петухов, А. Н. Фреттинг-коррозия и фреттинг-усталость в малоподвижных соединениях [Текст] / А. Н. Петухов // Вестник Самарского аэрокосмического университета им. академика С. П. Королева, 2006. - № 2-1. - С. 115 - 120.
2. Кузнецова, Н. Б. Кинетика накопления деформаций и повреждений при циклическом контакте качения [Текст] / Н. Б. Кузнецова, А. О. Чернявский // Проблемы машиностроения и надежности машин. - 2009. - № 1. - С. 99 - 103.
3. Матвиенко, Ю. Г. Контактное взаимодействие и разрушение поверхностного слоя в условиях трения качения и закаливания [Текст] / Ю. Г. Матвиенко, М.

А. Бубнов // Проблемы машиностроения и надежности машин. - 2009. - № 4. -

С. 43 - 49.

1. Панин, В. Е. Влияние ультразвуковой ударной обработки на структуру и сопротивление усталости сварных соединений высокопрочной стали ВКС-12 [Текст] / В. Е. Панин [и др.] // Физическая мезомеханика. - 2006. - № 9. - Вып.
2. -С. 85-96.
3. Grabulov, A. .EBSD investigation of the crack initiation and ТЕМ/FIB analyses of the microstructural changes around the cracks formed under Rolling Contact Fatigue (RCF) [Text] / A. Grabulov, R. Petrov, H. W. Zandbergen // International Journal of Fatigue. - **2010**. - № 32. - P. 576 - 583.
4. Griming, A. Cyclic stress-strain behavior and damage of tool steel AISI Hll under isothermal and thermal fatigue conditions [Text] / A. Griming, M. Lebsanft, B. Scholtes // Materials Science and Engineering A. - 2010. - № 527. - P. 1979 - 1985.
5. Бунин, И. Ж. Мультифрактальный анализ границ зерен в приповерхностных слоях сплава АВТ-1 [Текст] / И. Ж. Бунин, А. А. Оксогоев, И. Ю. Танитовский // Физика прочности и пластичности материалов. - Самара. - 1995. - С. 328 - 330.
6. Калюта, А. А. Оценка эквивалентных по остаточной долговечности периодов термоэкспозиции при комплексных ресурсных испытаниях образцов конструктивных элементов [Текст] / А. А. Калюта // Проблемы машиностроения и надежности машин. - 2009. - № **6**. - С. 29 - 34.
7. Zavoitchinskaya Е. About an approach to an estimation of time of short crack origin at quasiperiodic complex loading. Physical aspects of fracture, Cargese (Corsica) [Text]. NATO Science Congress, 5-17 June, 2000. France, NATO Advanced Study Institute. 2000. - P. 121-123.

53.3авойчинская Э. Б. Об одном подходе к описанию микроразрушения твердых тел [Текст] // Упругость и неупругость. - М.: Ленанд, 2006. - С. 321 - 331.

1. Виноградов, А. Ю. Усталость ультрамелкозернистых материалов, полученных равноканальным угловым прессованием [Текст] / А. Ю. Виноградов, С. Хасимото // Металлы. - 2004. - № 1. - С. 51 - 62.
2. Jang, С. Effects of microstructure and residual stress on fatigue crack growth of stainless steel narrow gap welds [Text] / C. Jang [et al.] // Materials and Design. - 2010. -№31. -P. 1862- 1870.

56.3ахезин, А. М. Вибрационная диагностика усталостных трещин [Текст] / А. М.

**j**

Захезйн, Т. В. Малышева // Проблемы машиностроения и надежности машин. - 2010.-№2.-С. 103-109.

1. Изотов, В. И. Эволюция дислокационной структуры и образование микротрещин при усталости перлитно-ферритной стали [Текст] / В. И. Изотов [и др.] // Физика металлов и металловедение. - 2008. - Т. 105. - № 5. - С. 549 - 559.
2. Изотов, В. И. Влияние структуры перлитной стали на механические свойства и особенности разрушения при изгибном нагружении [Текст] / В. И. Изотов [и др.] // Физика металлов и металловедение. - 2009. - Т. 108. - № **6**. - С. 638 - 648.
3. Masayuki Kamaya. Fatigue properties of 316 stainless steel and its failure due to internal cracks in low-cycle and extremely low-cycle fatigue regimes [Text] /

Masayuki Kamaya // International Journal of Fatigue. - 2010. - № 32. - P. 1081 - 1089.

1. Chakherlou, T. N. An investigation about interference fit effect on improving fatigue life of a holed single plate in joints [Text] / T. N. Chakherlou [et al.] // European Journal of Mechanics A/Solids. - 2010. - P. 1-8.
2. Dimitriu, R. C. Fatigue crack growth rate model for metallic alloys [Text] / R. C. Dimitriu, H. K. D. H. Bhadeshia // Materials and Design. - 2010. - № 31. - P. 2134 -2139.
3. Встовский Г. В. Мультифрактальный анализ особенностей разрушения приповерхностных слоев молибдена [Текст] / Г. В. Встовский, А. Г. Колмаков,

В. Ф. Терентьев // Металлы. - 1993. - № 4. - С. 164 - 178.

1. Кузнецов, П. В. Фрактальная размерность как характеристика усталости поликристаллов металлов [Текст] / П. В. Кузнецов, И. В. Петракова, Ю. Шрайбер // Физическая мезомеханика. - 2004. - Спец. вып. 7. - Ч. 1. - С. 389 - 392.
2. Павлов, В. Ф. Остаточные напряжения поверхностного слоя как критерий

1

сопротивления усталости деталей [Текст] / В. Ф. Павлов [и др.] // Вестник Самарского государственного технического университета, Сер.: Физико- математические науки. - 2004. - № 26. - С. 115-121.

1. Автократова, Е. В. Поведение субмикрокристаллического алюминиевого сплава 1570 в условиях циклического нагружения [Текст] / Е. В. Автократова [и др.] // Физика металлов и металловедение. - 2009. - Т. 107. - № 3. - С. 309 - 315. '
2. Masaki Nakajima. Effect of loading condition on very high cycle fatigue behavior in a high strength steel [Text] / Masaki Nakajima [et al.] // International Journal of Fatigue. - 2010. - № 32. - P. 475 - 480.

67.0ксогоев, А. А. Ренорм-групповой анализ теплопереноса на фрактальных структурах [Текст] / А. А. Оксогоев // Синергетика, структура и свойства материалов, самоорганизующиеся технологии. - М. : ИМЕТ им. Байкова РАН,

1996.-Ч. I.-С. 233 -235.

68.0ксогоев, А. А. Физические предпосылки к развитию технологий получения материалов с заданными свойствами [Текст] / А. А. Оксогоев, B.C. Иванова // Перспективные материалы. - 1999. - № 5. - С. 5 - 16.

1. Thierry Palin-Luc. Fatigue crack initiation and growth on a steel in the very high cycle regime with sea water corrosion [Text] / Thierry Palin-Luc [et al.] // Engineering Fracture Mechanics. - 2010. - P. 1-10.
2. Holtam, С. M. Effect of crack depth on fatigue crack growth rates for a C-Mn pipeline steel in a sour environment [Text] / С. M. Holtam [et al.] // International Journal of Fatigue. - 2010. - № 32. - P. 288 - 296.
3. Мыльников, В. В. Влияние частоты циклического нагружения на сопротивление усталости высокопрочных конструкционных материалов [Текст] / В. В. Мыльников, Е. А. Чернышов, Д. И. Шетулов // Заготовительные производства в машиностроении. - 2009. - № 2. - С. 33 - 36.
4. Панин, В. Е. Структурные уровни пластической деформации и разрушения [Текст] / В.Е. Панин, С.Н. Гриняев, В.И. Данилов [и др.]. - Новосибирск : Наука, 1990. - 255 с.

73.Опарина, И. Б. Структурные уровни пластической деформации и разрушения в условиях усталости [Текст] / И. Б. Опарина, М. Р. Тютин // Металлы. - 2004. - № 4. - С. 93 - 97.

1. Елсукова, Т. Ф. Мезоскопическая субструктура и свойства поликристаллов при циклическом нагружении [Текст] / Т. Ф. Елсукова [и др.] // Деформация и разрушение материалов. - 2006. - № 4. - С. 12-17.
2. Конева, Н. А. Эволюция дислокационных субструктур при усталости [Текст] / Н. А. Конева [и др.]. - Новокузнецк : Изд-во СибГИУ, 2001. - 105 с.
3. Charsley, P. The effect of temperature and amplitude on dislocation structures in cyclically deformed pure aluminum [Text] / P. Charsley, U. Bangert, L. J. Appleby // Mat. Sci. and Eng. - 1989.-№ 113.-P. 231 -236.
4. Crinberg, N. M. Cyclic hardening and substructure of Al-Mg alloys / N. M. Crinberg [et al.] // Mat. Sci. and Eng. - 1991. - A 138. - P. 49 - 61.
5. Driver, J. H. Microstructural effects of the cyclic and monotonic hardening of Al - 5 Mg [Text] / J. H. Driver, J. M. Papazian // Mat. Sci. and Eng. - 1985. - Vol. 76. - P. 51-56.
6. Driver, J. H. The cyclic stress-strain behavior of polycrystalline Al - 5mt *%* Mg [Text] / J. H. Driver, P. Rieux // Mat. Sci. and Eng. - 1984. - Vol. **68**. - P. 35 - 43.
7. Kwun, S. I. The cyclic hardening of Al-3Mg alloy [Text] / S. I. Kwun, М. E. Fine // Sci. Met. - 1984. - Vol. 18. - P. 981 - 984.
8. Ramaswami, B. Fatigue deformation of Al-Mg single crystals [Text] / B. Ramaswami, T. W. Lau // Mat. Sci. and Eng. - 1980. - Vol. 46. - P. 221 - 230.
9. Ramaswami, B. Microstructural stability and fatigue deformation in Cu and Al-0,7 ат. % Mg single crystals [Text] / B. Ramaswami, T. W. Lau, G. Poon // Proc. 5th Int. Conf. on the Strength of Metals and Alloys, Aachen, August 1979, Pergamon Press, Oxford. - 1980. - Vol.2. - P. 1169 - 1174.
10. Nahm, A.H. Characterization of fatigue substructure of Jncoloy alloy 800 ат. elevated temperature [Text] / A. H. Nahm, J. Moteff // Met. Trans. A. - 1981. - Vol.
11. - P. 1011 - 1025.
12. Мышляев, М. М. Анализ механизмов пластической деформации сплава на основе алюминия при разных температурно-скоростных режимах [Текст] / М. М. Мышляев [и др.] // Доклады академии наук. - 2010. - Т. 430. - № 5. - С. 618 -621.
13. Мышляев, М. М.Изменение блочной структуры алюминия в процессе ползучести [Текст] / М. М. Мышляев // Физика твердого тела. - 1967. - Т. 9, №4.-С. 1203- 1208.
14. Ackermann, F. The dependence of dislocation microstructure on plastic strain amplitude in cyclically strained copper single crystals [Text] / F. Ackermann [et al.] //Acta met. - 1984.-Vol. 32.-№ 5.-P. 715-725.
15. Winter, A.T. Dislocation structure in the interior of fatigued copper polycrystal [Text] / A. T. Winter // Acta met. - 1980. -Vol. 28. - P. 963 - 964.
16. Woods, P. J. Low-amplitude fatigue of copper and copper - 5% A1 single crystals [Text] / P. J. Woods // Phil. Mag. - 1973. - Vol. 28. - P. 155 - 191.
17. Rasmussen, K.V. Fatigue of copper polycrystals at low plastic strain amplitudes [Text] / К. V. Rasmussen, О. B. Pederson // Acta met. - 1980. -Vol. 28. - P. 1467 - 1478.

90.Shirai, H. Fatigue dislocation structures at elevated temperatures [Text] / H. Shirai, J. R. Weertman // Sci. met. - 1983. -Vol. 17. - P. 1253 - 1258.

91 .Page, R. Evolution of dislocation structure in polycrystalline copper fatigued at high temperature [Text] / R. Page, J. R. Weertman // Scr. met. — 1981. -Vol.15. - P. 223 - 227.

1. Jin, N. Y. Dislocation structures in fatigued copper single crystals oriented for double slip [Text] / N. Y. Jin // Phil. Mag. - 1983. -Vol. 48. - № 5. - P. 33 - 38.
2. Antonopoulos, J. G. Weak-beam study of dislocations structures in fatigued copper [Text] / J. G. Antonopoulos, A. T. Winter // Phil. Mag. - 1976. - Vol. 33. - № 1. - P. 87-95.
3. Mecke, K. The development of the dislocation structures during the fatigue process of F.C.C. single crystals [Text] / K. Mecke, G. Blochwitz, U. Kremling // Cryst. Res. And Technol.- 1982. -Vol. 17. -№ 12.-P. 1557- 1570.
4. Шевченко, В. Б. Взаимосвязь дислокационной структуры с долговечностью при циклических испытаниях Ni [Текст] / В. Б. Шевченко, Т. А. Молодкина, Б. А. Мовчан // Металлофизика. - 1987. - Т. 9. - № **6**. - С. 56 - 59.
5. Lepisto, Т. The PSB structure in single-slip oriented copper single crystals [Text] / T. Lepisto, P. Kettunen // Scr. met. - 1982. - Vol. 16. - P. 1145 - 1148.
6. Wang, R. Secondary cyclic hardening in fatigued copper monocrystals and polycrystals [Text] / R. Wang, H. Mughrabi // Mat. Sci. and Eng. - 1984-Vol.63. - P.147- 163.
7. Charsley, P. Dislocation arrangements in polycrystalline copper alloys fatigued to saturation [Text] / P. Charsley // Mat. Sci. and Eng. - 1981.-Vol.47. - P. 181 - 185.
8. Winter, A.T. Dislocation microstructures in fatigued copper polycrystals [Text] / A. T. Winter, О. B. Pederson, К. V. Rasmussen // Acta met. - 1981. -Vol. 29. - P. 735 -748.
9. Gerland, M. Secondary cyclic hardening and dislocation structures in type 316 stainless sleep at 600°C [Text] / M. Gerland, P. Violan // Mat. Sci. and Eng. - 1986. -Vol. 84.-P. 23-33.
10. Jin, N. Y. Dislocation structures in cyclically deformed [001] copper crystals [Text] / N. Y. Jin, A. T. Winter // Acta met. - 1984. - Vol. 32. - №**8**. - P. 1173 — 1176.
11. Boulanger, L. Labyrinth structure and persistent slip bands in fatigued 316 stainless steel [Text] / L. Boulanger, A. Bisson, A. A. Tavassoli // Phil. Mag. A. -
12. -Vol. 51. -№ 2. - P. L5-L11.
13. L’Esperance, G. The identification of labyrinth wall orientations in cyclically deformed AISI - SAE 316 stainless steel [Text] / G. L’Esperance, J. B. Vogt, F. I. Dickson // Mat. Sci. and Eng. - 1986. - Vol. 79. - P. 141 - 147.
14. Фридель, Ж. Дислокации [Текст] / Ж. Фридель. - М.: Мир, 1967. - 643 с.
15. Хирт, Дж. Теория дислокаций [Текст] / Дж. Хирт, И. Лоте. - М.: Атомиздат, 1972.-599 с.
16. Buchinger, L. The cyclic stress-strain response and dislocation structures of Cu- 16 ат % A1 alloy. III. Single crystals fatigued at low strain amplitudes [Text] / L.

Buchinger [et al.] // Mat. Sci. and Eng. - 1986. - Vol. 80. - P. 155 - 167.

!

1. Basinski Z.S., Korbel J.S., Basinski S.Z. The temperature dependence of the saturation stress and dislocation substructure in fatigued copper single crystals [Text] / Z. S. Basinski, J. S. Korbel, S. Z. Basinski // Acta met. - 1980. - Vol. 28. - P. 191 -207.
2. Lepisto, T. Dislocation arrangements in cyclically deformed copper single crystals [Text] / T. Lepisto, V. T. Kuokkala, P. O. Kettunen // Mat. Sci. and Eng. -
3. -Vol. 81.-P. 457-463.
4. Li, X.W. Deformation bands in cyclically deformed copper single crystals [Text]

/ X. W. Li, Z. G. Wang, S. X. Li // Phil. Mag. A. - 2000. -Vol. 80. - №**8**. - P. 1901

* 1912.

1. Luoh, T. Dislocation structures of persistent slip bands in cyclically deformed polycrystalline copper [Text] / T. Luoh, H. T. Tsai, C. P. Chang // Phil. Mag. - 1998.

* V.78. - №4. - P. 935-948.

1. Vogel, W. Dislocation structures and persistent slip band formation during cycling of age-hardened Al-Zn-Mg single crystals [Text] / W. Vogel, M. Wilhelm, V. Gerold // Proc. 5th Int. Conf. on the Strength of Metals and Alloys, Aachen, August 1979, Pergamon Press, Oxford. - 1980. - Vol. 2. - P. 1175 - 1180.
2. Koneva, N. A. Self-organization and phase transition in dislocation structure / N.A. Koneva [et al.] // In: Proc. of 9th ICSMA, Israel, Haifa. Fruid Publ. Company LTD. London.-1991.-P. 157- 164.
3. Steiner, D. The fatigue behavior of age- hardened Cu-2 ат % Co alloy [Text] / D. Steiner, V. Gerold // Mat. Sci. and Eng. - 1986. - Vol. 84. - P. 77 - **88**.
4. Лозинский, М. Г. Исследование структуры аустенитной стали при различных формах цикла упругопластического высокотемпературного деформирования [Текст] / М. Г. Лозинский, А. Н. Романов, В. В. Малов // В сб.: Структурные факторы малоциклового разрушения металлов. - М.: Наука, 1977.-С. 65-86.
5. Конева, Н. А. Физическая природа стадийности пластической деформации [Текст] / Н. А. Конева, Э. В. Козлов // Известия вузов. Физика. - 1990. - № 2. -

С. 89- 108.

1. Kuhlmann-Wilsdorf, D. Energy mininuzation of dislocation in low - energy dislocation structures [Text] / D. Kuhlmann-Wilsdorf // Phys. staf. sol. (a). - 1987. - Vol. 104.-P. 121 - 144.
2. Chalant G. and Remy L. The slip character and low cycle fatigue behavior: the influence of F.C.C. twinning and strain-induced F.C.C. *—>* H.C.P. martensitic transformation [Text] / G. Chalant, L. Remy // Acta met. - 1980. -Vol. 28. - P. 75 - **88**.
3. Katagiri, K. Dislocation structures associated with fracture surface topographies in stage II fatigue crack growth in copper and 70:30 brass [Text] / K. Katagiri, J. Awatani, K. Koyanagi // Metal Science. - 1980. - Vol. 14. - № 10. - P. 485 - 492.
4. Лихачев, В. А. Физико-механические модели разрушения [Текст] / В. А. Лихачев // Модели механики сплошной среды. - Новосибирск : СО АН СССР ИТПМ, 1983.-С. 255-277.
5. Yamaguchi, К. Dislocation substructures of austenitic stainless steels after low- cycle fatigue at high temperatures [Text] / K. Yamaguchi, K. Kanazawa // Trans, of Nat. Res. Inst. For Metals. - 1984. - Vol. 26. - № 3. - P. 210 - 214.
6. Jagannadham, K. Low Energy Dislocation Structures Associated with Cracks in Ductile Fracture [Text] / K. Jagannadham // Materials Science and Engineering. -
7. -№81.-P. 273-292.
8. Niendorf, T. Fatigue crack growth - Microstructure relationships in a high- manganese austenitic TWIP steel [Text] / T. Niendorf [et al.] // Materials Science and Engineering A. - 2010. - № 527. - P. 2412 - 2417.
9. Терентьев, В. Ф. Сопротивление усталости сплавов титана и железа с субмикроскопической и наноструктурой. Обзор [Текст] / В. Ф. Терентьев // Металловедение и термическая обработка металлов. - 2007. - № 10. - С. 21-28.
10. Беляков, А. Н. Изменение зернистой структуры в металлических материалах

I

в результате пластической обработки [Текст] / А. Н. Беляков // Физика металлов и металловедение. - 2009. - Т. 108. -№ 4. - С. 412 - 423.

1. Kassner, М. Е. Fundamentals of Creep in Metals and Alloys, Second Edition [Text] / M.E. Kassner. - London: Elsevier Science, 2009. - 320 p.
2. Розенберг, В. М. Ползучесть металлов [Текст] / В. М. Розенберг. - М. : Физматгиз, 1967. - 276 с.
3. Работнов, Ю. Н. Ползучесть элементов конструкций [Текст] / Ю. Н. Работнов. - М. : Металлургия, 1966. - 752 с.
4. Гарофало, Ф. Законы ползучести и длительной прочности металлов и сплавов [Текст] / Ф. Гарофало. - Пер. с англ. - М. : Металлургия, 1968. - 304 с.
5. Чадек Йозеф. Ползучесть металлических материалов [Текст] / Чадек Йозеф. -М. : Мир, 1987.-302 с.
6. Лепин, Г. Ф. Ползучесть металлов и критерии жаропрочности [Текст] / Г. Ф. Лепин. - М. : Металлургия, 1976. - 344 с.
7. Хоникомб, Р. Пластическая деформация металлов [Текст] / Р. Хоникомб. - М.: Мир, 1972.-408 с.
8. Кеннеди, А. Дж. Ползучесть и усталость в металлах [Текст] / А. Дж. Кеннеди. - М. : Металлургия, 1965. - 312 с.
9. Регель, В. Р. Кинетическая природа прочности твердых тел. [Текст] / В. Р. Регель, А. И. Слуцкер, Э. Е. Томашевский. - М. : Наука, 1974. - 560 с.
10. Аршакунин, А. Л. Закономерности ползучести и длительной прочности [Текст] / А. Л. Аршакунин. - М. : Машиностроение, 1983. - 102 с.
11. Куманин, В. И. Долговечность металлов в условиях ползучести [Текст] /

В. И. Куманин. - М.: Металлургия, 1988. - 225 с.

1. Старцев, В. И. Пластичность и прочность металлов и сплавов при низких температурах. [Текст] / В. И. Старцев, В. Я. Ильичев, В. В. Пустовалов. - М. : Металлургия, 1975. - 328 с.
2. Опарина, И. Б. Структурный аспект накопления повреждений в условиях ползучести металлов [Текст] / И. Б. Опарина, Л. Р. Боткина // Металлы. - 2004. - № **6**. - С. 95 - 99.
3. Нацик, В. Д. Количественный анализ скачка деформации ползучести 13- олова, стимулированного сверхпроводящим переходом [Текст] / В. Д. Нацик [и др.] // Физика низких температур. - 2003. - Т. 29, № 4. - С. 451 - 468.
4. Соловьёва, Ю.В. Исследование ползучести монокристаллов сплава Ni3Ge [Текст] / Ю. В. Соловьёва [и др.] // Известия вузов. Физика. - 2009. - № 4. - С. 53 -59.
5. Аксенов, В. К. Особенности низкотемпературной ползучести сплава Nb-Ti после больших пластических деформаций при 77 К [Текст] / В. К. Аксенов [и др.] // Физика низких температур. - 2004. - Т. 30, № 4. - С. 458 - 462.
6. Нацик, В. Д. Ползучесть монокристаллов Р-олова в субкельвиновой области температур [Текст] / В.Д. Нацик [и др.] // Физика низких температур. - 2004. - Т. 30, № 3. - С. 340-350.
7. Елсукова, Т. Ф. Стадии высокотемпературной ползучести поликристаллов свинца как эволюция структурных уровней пластической деформации [Текст] / Т. Ф. Елсукова [и др.] // Физическая мезомеханика, 2000. - Т. 3, № 5. - С. 91 -

99.

1. Грабовецкая, Г. П. Эволюция структуры и деформационное поведение сплава ВТ**6** в процессе высокотемпературной ползучести [Текст] / Г. П. Грабовецкая [и др.] // Физическая мезомеханика. - 2005. - № **8**. - С. 75 - 78.
2. Жаркова, Н. А. сравнительная оценка долговечности материала в условиях ползучести на основе разных подходов [Текст] / Н. А. Жаркова, JI. Р. Ботвина // Металлы. - 2006. - № 3. - С. 91 - 96.
3. Холмянский, И. А. Исследование ползучести жаропрочных сплавов и расчет долговечности дисков турбин [Текст] / И. А. Холмянский // Известия вузов. Авиационная техника. -2002. -№3.-С. 39-43.
4. Иванов, М. А. Описание ползучести с учетом размножения дислокаций и их превращений [Текст] / М. А. Иванов, Б. А. Гринберг // Физика металлов и металловедение. - 2006. - Т. 101, № 3. - С. 255 - 265.
5. Грешнов, В. М. Физико-математическая теория пластичности и ползучести металлов [Текст] / В. М. Грешнов, И. В. Пятаева, В. Е. Сидоров // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. - 2007. - Т. 9, № **6**. - С. 143 - 152.
6. Дехтяр, А. И. Взаимодействие между дислокациями в процессе ползучести [Текст] / А. И. Дехтяр // Физика металлов и металловедение. - 2006. - Т. 101, № **6**. - С. 649 - 652.
7. Дудко, В. А. Влияние субзеренной структуры на сопротивление ползучести сплава 1207 [Текст] / В. А. Дудко, Р. О. Кайбышев, Э. Р. Салахова // Физика металлов и металловедение. - 2009. - Т. 107, № 1. - С. 95 - 100.
8. Грабовецкая, Г. П. Закономерности ползучести объемных субмикрокристаллических металлических материалов в условиях воздействия диффузионными потоками атомов примеси из покрытия (обзор) [Текст] / Г. П. Грабовецкая // Физическая мезомеханика. - 2005. - Т. **8**, № 2. - С. 49 - 60.
9. Nirmal К. Sinha. Stress relaxation at high temperatures and the role of delayed elasticity [Text] / Nirmal K. Sinha, Shoma Sinha // Materials Science and Engineering. - 2005. - A 393. - P. 179 - 190.
10. Нагорная И. Ю. Влияние предварительной обработки стали на эволюцию ее дислокационной структуры при пластическом дифференцировании [Текст] / И. Ю. Нагорная, В. Е. Олыпанецкий // Металлы. - 2004. - № **6**. - С. 108 - 112.
11. Ray К. К. Thermmal Activation Analysis by Stress Relaxation in Some F.C.C. Metals [Text] / К. К Ray, A. K. Mallik // Science and Engineering. - 1983. V. 59. - P. 59-67.
12. Епифонов Г. И. Влияние природы металла на адсорбционное облегчение процесса резания [Текст] / Г. И. Епифанов, П. А. Ребиндер, JI. А. Шрейнер // Доклады академии наук СССР. - 1949. - Т. LXVI. -№5. - С. 897 - 880.
13. Лихтман В. И. Влияние поверхностно-активных веществ на малые деформации монокристаллов олова [Текст] / В. И. Лихтман, Е. П. Закощикова // Доклады академии наук СССР. - 1949. - Т. LXVI. - № 4. - С. 657 - 660.
14. Лихтман В.И. Влияние размеров металлических монокристаллов на вид диаграммы растяжения и на величину адсорбционного эффекта понижения прочности [Текст] / В. И. Лихтман, Е. К. Венстрем // Доклады академии наук СССР. - 1949. - Т. LXVI. -№ 5. - С. 881 - 883.
15. Лихтман В. И. О влиянии окисных пленок на механические свойства монокристаллов кадмия [Текст] / В. И. Лихтман, В. С. Островский // Доклады академии наук СССР. - 1949. - Т. LXVI. - №1. - С. 105- 107.
16. Рожанский В. Н. Влияние окисных пленок на эффект адсорбционного облегчения деформации металлических монокристаллов [Текст] / В. Н. Рожанский, П. А. Ребиндер // Доклады академии наук СССР. - 1953. - Т. ХСІ. -№1. - С. 129-131.
17. Kruml Т. About the determination of the thermal and athermal stress components from stress-relaxation experiments [Text] / T. Kruml, O. Coddeet, J.L. Martin // Acta materialia. - 2008. - V. 56. - P. 333 - 340.
18. Drozd Z. Degradation of the mechanical properties of a Mg-Li-Al composite at elevated temperatures studied by the stress relaxation technique [Text] / Z. Drozd, Z. Trojanjva, S. Kudela // Materials Science and Engineering A. - 2007. - V. 462. - P. 234-238.
19. Elmer, J. W. Low temperature relaxation of residual stress in ТІ-6А1-4У [Text] / J. W. Elmer, T. A. Palmer, S. S. Babu [et al.] // Scripta Materialia. - 2005. - V. 52. - P. 1051 - 1056.
20. Троицкий, О. А. Об анизотропии действия электронного и а- облучения на процесс деформации монокристаллов цинка в хрупком состоянии [Текст] / О.

А. Троицкий, В. И. Лихтман // Доклады академии наук СССР. - 1963. - Вып.

1. -№2.-С. 332-334.
2. Кравченко, В. Я. Воздействие направленного потока электронов на движущиеся дислокации [Текст] / В. Я. Кравченко // Журнал экспер. и теорет. физики. - 1968.-Т. 51.-вып. **6**.-С. 1676- 1688.
3. Троицкий, О. А. Электропластический эффект в металлах [Текст] / О. А. Троицкий, А. Г. Розно // Физика твердого тела. - 1970. - Вып. 12. - № 1. - С. 203 -210.
4. Климов, К. М. Пластическая деформация металлов в электромагнитном поле [Текст] / К. М. Климов, И. И. Новиков // Аннот. Докл. V Всесоюз. съезда по теор. и прикл. механике. - Алма-Ата: Наука, 1981. - С. 190- 194.
5. Климов, К. М. К вопросу об «электронно-пластическом эффекте» [Текст] / К. М. Климов, И. И. Новиков // Проблемы прочности. - 1984. - № 1. - С. 98 -
6. ;
7. Беклемишев, Н. Н. О процессе пластической деформации в импульсном электромагнитном поле некоторых проводящих материалов [Текст] / Н. Н. Беклемишев, Н. И. Корягин, Г. С. Шапиро // Известия академии наук СССР. - 1985.-№ 1.-С. 159-161.
8. Барышев, Г. А. Структурные изменения в металле вблизи отверстий и включений под влиянием импульса тока [Текст] / Г.А. Барышев [и др.] // Физика и химия обработки материалов. - 1980 - № 4. - С. 26 - 31.
9. Рощупкин, А. М. Развитие концепций о действии тока высокой плотности на пластическую деформацию металла [Текст] / А.М. Рощупкин [и др.] // Доклады академии наук СССР. - 1986. - Вып. 286. - № 3. - С. 633 - 636.
10. Спицын, В. И. Электропластическая деформация металлов [Текст] / В. И. Спицын, О. А. Троицкий. - М.: Наука, 1985. - 160 с.
11. Specher, A. F. On the mechanism for the electroplastic effect in metals [Text] / A. F. Specher, S. L. Mannan, H. Conrad // Acta Met. - 1986. - V. 34. - № 7. - P. 1145 - 1162.
12. Okazaki, K. Study of the electroplastic effect in metals [Text] / K. Okazaki, M. Kjagawa, H. A. Conrad // Scr. Met. - 1978. - Vol. 12. - № 11. - P. 1063 - 1068.
13. Баранов, Ю. В. Физические основы электроимпульсной и электропластической обработок и новые материалы [Текст] / Ю. В. Баранов [и др.] - М. : МГИУ, 2001. - 844 с.
14. Степанов, Г. В. Релаксация напряжений в стали при пропускании электрического тока большой плотности [Текст] / Г. В. Степанов, А. И. Бабуцкий // Проблемы прочности. - 1993. - № 9. - С. 89-91.
15. Воробьев, Е. В. Чувствительность аустенитных сталей к концентрации напряжений в условиях глубокого охлаждения и высокоэнергетических импульсных воздействий [Текст] / Е. В. Воробьев // Проблемы прочности. - 1991.-С. 89-91.
16. Стрижало, В. А. Анизотропия механических характеристик стали при воздействии импульсов электрического тока и криогенных температур [Текст] / В. А. Стрижало, JI. С. Новогрудский // Проблемы прочности. - 1995. - № 10. -С. 42-48.
17. Громов, В. Е. О механизмах электропластического эффекта в металлах [Текст] / В. Е. Громов // Известия вузов. Черная металлургия. - 1989. - № 10. - С. 71 - 75.
18. Зуев, J1. Б. Действие импульсов электрического тока на подвижность дислокаций монокристаллах [Текст] / JI. Б. Зуев, В. Е. Громов, JL И. Гуревич // Металлофизика. - 1990. - Вып. 12. - № 4. - С. 11-15.
19. Кирьянчев, Н. Е. Электропластическая деформация металлов (обзор) [Текст] / Н. Е. Кирьянчев, О. А. Троицкий, С. J1. Клевцур // Проблемы прочности. - 1983. -№5. - С. 101 - 105.
20. Конева, Н. А. Физическая природа стадийности пластической деформации [Текст] / Н. А. Конева, Э. В. Козлов // Известия вузов. Физика. - 1990. - №2. - С. 89 - 106.
21. Сидоренко, В.В. О механизме разупрочнения при электропластической деформации металлов [Текст] / В. В. Сидоренко, Д. И. Семецов, Ю. В. Корнев // Доклады академии наук СССР. - 1990. - Вып. 310. - № **6**. - С. 1371 - 1374.
22. Гр'омов, В. Е. Электростимулированная пластичность металлов и сплавов [Текст] / В. Е. Громов [и др.]. - М.: Недра, 1996. - 280 с.
23. Троицкий О. А. Физические основы и технологии обработки современных материалов (теория, технология, структура и свойства) [Текст]. В 2-х томах. Москва-Ижевск : Институт компьютерных исследований, 2004. - Т. 1. - 590 с.
24. Баранов Ю. В. Изменение физико-механических свойств быстрорежущих сталей при обработке импульсным электрическим током [Текст] / Ю. В. Баранов // Лесной вестник. 2002. - № 1. - С. 57 - 64.
25. Прокошкин С. Д. Исследование влияния параметров электроимпульсного воздействия при деформации на структуру и функциональные свойства сплава Ti-Ni с памятью формы [Текст] / С. Д. Прокошкин, В. В. Столяров, А. В. Коротицкий [и др.] // Физика металлов и металловедение. - 2009. - Т. 108. - № **6**. - С. 649 - 656.
26. Сташенко В. И. Новые технологии в машиностроении [Текст] / В. И. Сташенко, О. А. Троицкий, Н. Н. Новикова // Проблемы машиностроения и надежности машин. - 2009. -№ 4. - С. 69 - 73.

18 7. Сташенко В. И. Электропластическое волочение чугунной проволоки [Текст] / В. И. Сташенко, О. А. Троицкий, Н. Н. Новикова // Проблемы машиностроения и надежности машин. - 2009. - № 2. - С. 85 - **88**.

1. Беклемишев, Н. Н. Влияние локально неоднородного импульсного ЭМ поля на пластичность и прочность проводящих материалов [Текст] / Н. Н. Беклемишев, Г. С. Шапиро // Известия АН СССР. Металлы. - 1984. - № 4. - С. 184- 187.
2. Беклемишев, Н. Н. О процессе пластической деформации в импульсном электромагнитном поле некоторых проводящих материалов [Текст] / Н. Н. Беклемишев, Н. И. Корягин, Г. С. Шапиро // Известия АН СССР. Металлы. - 1985.-№ 1.-С. 159-161.
3. Беклемишев, Н. Н. О законе деформирования проводящих материалов при действии импульсного электрического тока [Текст] / Н. Н. Беклемишев, Е. Н. Веденяпин, Г. С. Шапиро // Известия академии наук СССР. Механика твердого тела. - 1983.-№6.-С. 151 - 155.
4. Овчинников, И. В. Пластичность при плоской деформации, вызванной воздействием мгновенного точечного источника тепла [Текст] / И. В. Овчинников // Вестник МГУ. - 1988. - № 4. - С. 33 - 36.
5. Овчинников, И. В. К вопросу о воздействии мгновенного точечного источника тепла [Текст] / И. В. Овчинников. - М.: Деп. в ВИНИТИ 24.04.87. № 3052-В 87.- 1987.- 14 с.
6. Клюшников, В. Д. Плоская задача о действии мгновенного точечного источника тепла [Текст] / В. Д. Клюшников, И. В. Овчинников // Известия академии наук СССР. Механика твердого тела. - 1988. - № 4. - С. 118 - 122.
7. Зуев, JL Б. О возможности залечивания усталостных повреждений [Текст] / Л.Б. Зуев [и др.] // Металлофизика и новейшие технологии. - 1997. - Т. 19. - № **8**.-С. 80-82.
8. Семакин, В. Е. Электростимулированное восстановление долговечности сварных соединений: эксперимент и модель [Текст] / В.Е. Семакин [и др.] // Известия Вузов. Черная металлургия. - 1997. - № **6**. - С. 48 - 51.
9. Соснин О.В. Электростимулированная малоцикловая усталость [Текст] / О.В. Соснин, В.Е. Громов, Э.В. Козлов [и др.]. - М. : Недра комм. ЛТД, 2000. - 208 с.
10. Пётрунин, В. А. Синергетика электростимулированного усталостного разрушения [Текст] / В.А. Петрунин [и др.] // Известия Вузов. Черная металлургия. - 1997. - № **6**. - С. 46 - 48.
11. Громов В. Е. Электростимулированное восстановление ресурса выносливости сварных соединений [Текст] / В. Е. Громов, Д. 3. Чиракадзе, Е.

В. Семакин [и др.] // Известия РАН. Серия физическая. - 1997. - № 5. - С. 1019-1023.

1. Gromov, V. Е. Electrostimulated recovery of steels hardness in fatigue test [Text] / V. E. Gromov [et al.] // Adv. materials and processes. - 1997. - № 9. - P. 38.
2. Зуев, Л. Б. Акустический контроль долговечности стальных образцов и восстановление их ресурса [Текст] / Зуев Л.Б., Соснин О.В., Чиракадзе Д.З. [и др.] // Прикладная механика и техническая физика. - 1998. - Т. 39. - № 4. - С. 180- 183.
3. Стрижало, В. А. Прочность сплавов криогенной техники при электромагнитных воздействиях [Текст] /В. А. Стрижало, J1. С. Новогрудский, Е. В. Воробьев. - Киев: Наукова думка, 1990. - 160 с.
4. Степанов, Г. В. Воздействие электрического тока на релаксацию напряжений в металле [Текст] / Г. В. Степанов, А. И. Бабуцкий // Проблемы прочности. - 1996. - № 2. - С. **68** - 72.
5. Степанов, Г. В. Изменение пластичности деформационно-упрочненной стали при пропускании электрического тока высокой прочности [Текст] / Г. В. Степанов, А. И. Бабуцкий, С. Н. Болванович // Проблемы прочности. - 1995. - №5-**6**.-С. 132- 135.
6. Зуев, JI. Б. Особенности наклепа стали Х18Н10Т в условиях холодного электростимулированного волочения [Текст] / Л.Б. Зуев [и др.] // Проблемы прочности. - 1993. - № **6**. - С. 49-53.
7. Коваленко, В. В. Эволюция дислокационной субструктуры на мезоуровне и механизмы электроимпульсного восстановления ресурса [Текст] / В. В. Коваленко [и др.] // Вестник тамбовского университета серия: Естественные и технические науки. - 2000. - Т. 5. - Вып. 2 - 3. - С. 272 - 274.
8. Громов, В. Е. Малоцикловая усталость металлов: диагностика и электроимпульсное восстановления ресурса [Текст] / В.Е. Громов [и др.] // Новые индивидуальные технологии и материалы. - Новосибирск : Сибирские огни, 2000. - С. 171 - 180.
9. Коваленко, В. В. Роль электростимулирования в эволюции дефектной структуры и фазового состава стали 08Х18Н10Т при малоцикловых усталостных испытаниях [Текст] / В.В. Коваленко [и др.] // Физика и химия обработки материалов. - 2000. - № **6**. - С. 74 - 80.
10. Громов, В. Е. Прочность и пластичность материалов в условиях внешних энергетических воздействий [Текст] / В. Е. Громов [и др.] // Известия ВУЗов. Черная металлургия. - 2000. - №**6**. - С. 17-24.
11. Коваленко, В. В. Механизмы повышения выносливости нержавеющей стали, подвергнутой малоцикловым усталостным испытаниям [Текст] / В.В. Коваленко [и др.] // Известия ВУЗов. Черная металлургия. - 2000. - № 12. - С. 57-59.
12. Соснин О. В. Эволюция структуры и фазового состава стали 60ГС2 при усталости с импульсным токовым воздействием [Текст] / О.В. Соснин, В.В. Целлермаер, А.В. Громова [и др.] // Научно-теоретический и практический журнал Тамбовского государственного университета им. Г.Р. Державина. Сер. Естественные и технические науки. - 2003. - Т. **8**, Вып. 4. - С. 591 - 593.
13. Физическая природа формирования и эволюции градиентных структурно­фазовых состояний в сталях и сплавах [Текст] / В. В. Коваленко, Э. В. Козлов, Ю. Ф. Иванов [и др.]. - Новокузнецк: НГГК, 2009. - 556 с.
14. Иванов, Ю. Ф. Эволюция пакета мартенсита в условиях многоцикловых усталостных испытаний [Текст] / Ю. Ф. Иванов, О. В. Соснин, Е. Ю. Сучкова [и др.] // Известия вузов. Физика. - 2003. - № 12. - С. 3 - **6**.
15. Иванов, Ю. Ф. Электропластификация закаленной углеродистой стали [Текст] / Ю.Ф. Иванов, О.В. Соснин, Е.Ю. Сучкова [и др.] // Физическая мезомеханика. - 2003. - № **6**. - С. 71 - 76.
16. Соснин, О. В. Структурно-фазовые аспекты электропластификации закаленной углеродистой стали [Текст] / О. В. Соснин, Ю. Ф. Иванов, Е. Ю. Сучкова [и др.] // Известия вузов. Черная металлургия. - 2004. - № 4. - С. 29 - 33.
17. Соснин, О. В. Эволюция структуры и фазового состава предварительно закаленной углеродистой стали в условиях многоцикловых усталостных испытаний [Текст] / О. В. Соснин, Ю. Ф. Иванов, Е. Ю. Сучкова [и др.] // Известия ВУЗов. Черная металлургия. - 2004. - № 4. - С. 35 - 38.
18. Соснин, О. В. Физическая природа повышения усталостной прочности закаленной углеродистой стали токовой импульсной обработкой [Текст] / О.В.

**і**

Соснин, Ю.Ф. Иванов, Е.Ю. Сучкова [и др.] // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. - 2004. - № 1. - С. 206 - 209.

1. Иванов, Ю. Ф. Структура, фазовый состав и свойства титана после электровзрывного легирования и электронно-пучковой обработки [Текст] / Ю. Ф. Иванов, С. В. Карпий, М. М. Морозов [и др.]. - Новокузнецк : Изд-во НПК, 2010.- 173 с.
2. Глезер, А. М. Наноматериалы, созданные путем экстремальных воздействий [Текст] / Глезер А. М., Громов В. Е. - Новокузнецк : Изд-во «Интер-Кузбасс»,
3. -171 с.
4. Громов, В. Е. Структурно-фазовые состояния и свойства упрочненных стального проката и чугунных валков [Текст] // В.Е. Громов, О.Ю. Ефимов,

В.Б. Костерев [и др.]. - Новокузнецк : Изд-во «Интер-Кузбасс», 2011. - 205 с.

1. Формирование структурно-фазовых состояний металлов и сплавов при электровзрывном легировании и электронно-пучковой обработке [Текст] / под ред. В.Е. Громова. - Новокузнецк : Изд-во «Интер-Кузбасс», 2011. - 212 с.
2. Miokovic, Т. Influence of cyclic temperature changes on the microstructure of AISI 4140 after laser surface hardening [Text] / T. Miokovic [et al.] // Acta Materialia. - 2007. - № 55. - P. 589 - 599.
3. Kumar, A. Laser machining of micro-notches for fatigue life [Text] / A. Kumar, М. C. Gupta // Optics and Lasers in Engineering. - 2010. - № 48. - P. 690 - 697.
4. Ротштейн, В. П. Поверхностная модификация и легирование металлических материалов низкоэнергетическими сильноточными пучками [Текст] / В. П. Ротштейн, А. Б. Марков // Вестник ТПГУ. Сер. Естественные и точные науки. - 2006. - Вып. **6** (57). - С. 11 - 19.
5. Тюрин, Ю. Н. Плазменные упрочняющие технологии [Текст] / Ю. Н. Тюрин, М. JI. Жадкевич. - Киев: Наукова думка, 2008. - 216 с.
6. Колубаева, А. В. Импульсно-периодическая электронно-пучковая обработка закаленной стали [Текст] / А.В. Колубаева, Ю.Ф. Иванов, В.Н. Девятков [и др.] // Известия вузов. Черная металлургия. - 2007. - № **8**. - С. 30 - 34.
7. Коваль, Н. Н. Наноструктурирование поверхности металлокерамических и керамических материалов при импульсной электронно-пучковой обработке [Текст] / Н. Н. Коваль, Ю. Ф. Иванов // Известия вузов. Физика. - 2008. - № 5. -С. 60-70.
8. Овчаренко, В. Е. Наноструктурное упрочнение инструментального металлокерамического сплава при электронно-пучковом облучении его поверхности [Текст] / В. Е. Овчаренко, Ю. Ф. Иванов, Ю. Баохай // Перспективные материалы. Спец. выпуск. - 2007. - № 9. - С. 450 - 455.
9. Шулов, В. А. Модификация поверхности деталей из жаропрочных сталей сильноточными импульсными электронными пучками [Текст] / В. А. Шулов, А. Г. Пайкин, А. Б. Белов [и др.] // Физика и химия обработки материалов. -
10. -№2.-С. 61-70.
11. Пайкин, А. Г. Технологические основы модифицирования поверхности деталей из жаропрочных никелевых сплавов с жаростойким NiCrAlY покрытием с применением сильноточных импульсных электронных пучков [Текст] / А. Г. Пайкин, А. В. Крайников, В. А. Шулов [и др.] // Физика и химия обработки материалов. - 2008. - № 3. - С. 56 - 60.
12. Поболь И. JL Оптимизация свойств металлических материалов электронно­лучевой обработкой [Текст] / И. JI. Поболь // Итоги науки и техники. ВИНИТИ. Сер. Новые материалы, технология их производства и обработки. - 1989.-Вып. 2.-44 с.
13. Тюрин, Ю. Н. Импульсно-плазменное упрочнение инструмента [Текст] / Ю. Н. Тюрин, О. В. Колисниченко, Н. Г. Цыганков // Автоматическая сварка. - 2001.-№ 1.-С. 38-44.
14. Жадкевич, М. JL Влияние параметров разрядного контура плазменно­детонационной установки на газодинамические характеристики импульсных плазменных потоков [Текст] / М. J1. Жадкевич, Ю. Н. Тюрин, О. В. Колисниченко [и др.] // Автоматическая сварка. - 2006. - № **8**. - С. 42 - 45.
15. Погребняк, А. Д. Упрочнение и массоперенос при импульсной плазменно­детонационной обработке сталей [Текст] / А. Д. Погребняк, О. П. Кульментьева, В. С. Кшнякин [и др.] // Физика и химия обработки материалов. - 2002. - № **2**. - С. 40 - 48.
16. Погребняк, А. Д. Структура и свойства покрытий из Al-Ni, нанесенных импульсной плазменной струей на подложку из стали [Текст] / А. Д. Погребняк, Ю. А. Кравченко, Д. JI. Алонцева [и др.] // Физика и химия обработки материалов. - 2004. - № 2. - С. 45 - 49.
17. Погребняк, А. Д. Структура и свойства Al-Со покрытия, нанесенного высокоскоростной импульсной плазменной струей [Текст] / А. Д. Погребняк, А. Д. Михалев, В. В. Понарядов [и др.] // Физика и химия обработки материалов. - 2005. -№ **6**. - С. 28 - 31.
18. Погребняк, А. Д. Модификация свойств материалов и осаждение покрытий с помощью плазменных струй [Текст] / А. Д. Погребняк, Ю. Н. Тюрин // Успехи физических наук. - 2005. - Т. 175. - № 5. - С. 515 - 544.
19. Апарина, Н. П. Взаимодействие импульсной водородной плазмы с поверхностью ванадия и его сплавов [Текст] / Н. П. Апарина, И. В. Боровицкая, В. И. Васильев [и др.] // Металлы. - 2000. - № 2. - С. 112-114.
20. Якушин, В. JI. Модифицирование углеродистых и низколегированных сталей потоками высокотемпературной импульсной плазмы / В. Л. Якушин // Металлы. - 2005. - № 2. - С. 12-24.
21. Калин, Б. А. Радиационно-пучковое воздействие - метод создания градиентного структурно-фазового состояния градиентного структурно­фазового состояния в материалах атомной техники [Текст] / Б. А. Калин, Н. В. Волков, В. Л. Якушин // Вопросы атомной науки техники. Сер. Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение. - 2007. - № 2. -С. 164-171.
22. Грибков, В. А. Перспективные радиационно-пучковые технологии обработки материалов [Текст] / В.А. Грибков, Ф.И. Григорьев, Б.А. Калин [и др.] / под ред. Б.А. Калина. - М. : Круглый год, 2001. - 528 с.
23. Коваленко, В. С. Лазерное и электроэрозионное упрочнение материалов [Текст] / В. С. Коваленко, А. Д. Верхотуров, JI. Ф. Головко [и др.]. - М. : Наука, 1986. - 276 с.
24. Диденко, А. Н. Воздействие пучков заряженных частиц на поверхность металлов и сплавов [Текст] / А. Н. Диденко, А. Е. Лигачев, И. Б. Куракин. - М.

: Энергоатомиздат, 1987. - 184 с.

1. Жукешов, А. М. Влияние режимов обработки импульсными потоками плазмы поверхности стали на ее структуру и микротвердость [Текст] / А. М. Жукешов, А. Т. Габдуллина // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейронные исследования. - 2009. - № 11. - С. 95 - 101.
2. Якушин, В. Л. Модифицирование углеродистых и низколегированных сталей потоками высокотемпературной импульсной плазмы [Текст] / В.Л. Якушин // Металлы. - 2005. - № 2. - С. 12 - 24.
3. Се'менцев, А. М. Лазерная обработка высокоуглеродистых сталей [Текст] /

А. М. Семенцев // Заготовительные производства в машиностроении. - 2007. - № 4. - С. 46 - 47.

1. Бр'овер., А. В. Некоторые особенности структурного состояния сталей в зонах лазерной обработки [Текст] / А. В. Бровер, Г. И. Бровер, Л. Д. Дьяченко // Известия вузов. Черная металлургия. - 2007. - № **6**. - С. 37 - 40.
2. Брантов, А. В. Моноэнергетические пучки протонов из пространственно­ограниченных мишеней, облучаемых ультракороткими лазерными импульсами [Текст] / А. В. Брантов, В. Ю. Быченков // Физика плазмы - 2010. - Т. 36. - № З.-С. 279-286.
3. Клыпин, А. А. О влиянии магнитного и электрического полей на ползучесть [Текст] / А. А. Клыпин // Металловедение и термическая обработка металлов. - 1973. -№ **8**. - С. 2 - **6**.
4. Клыпин, А. А. Связь электронной эмиссии с ползучестью металлических материалов [Текст] / А. А. Клыпин, Е. С. Соловьев // Проблемы прочности. - 1976. -№ 11.-С. 45-49.
5. Клыпин, А. А. Термообработка алюминиевых сплавов при воздействии электрического поля [Текст] / А. А. Клыпин, Е. С. Соловьев // Цветная металлургия. - 1977. - № 4. - С. 104 - 108.
6. Клыпин, А. А. Структура и свойства сплавов при воздействии электрического поля [Текст] / А. А. Клыпин // Металловедение и термическая обработка металлов. - 1979. - № 3. - С. **12** - 15.
7. Клыпин, А. А. О пластической деформации металлов при наличии электрического воздействия [Текст] / А. А. Клыпин // Проблемы прочности. - 1975.-№7.-с. 20-25.
8. Клыпин, А. А. Исследование ползучести при нарушении контакта между металлами [Текст] / А. А. Клыпин, А.А. Лучина // Доклады академии наук СССР. - 1986. - Т. 288. - № 2. - С. 370 - 373.
9. Клыпин, А. А. Влияние контакта разнородных металлов на ползучесть меди и алюминия [Текст] / А. А. Клыпин, А. А. Лучина // Известия академии наук. - 1985. - № 2 (отдельный оттиск). - С. 138- 146.
10. Венстрем, Е. К. Об электрокапиллярном эффекте понижения твердости и внешнего трения металлов [Текст] / Е. К. Венстрем, В. И. Лихтман, П. А. Ребиндер // Доклады академии наук СССР. - 1956. - Т. 107. -№ 1. - С. 105 -

107.

1. Лейкис, Д. И. Определение потенциала нулевого заряда электродов из двуокиси свинца методом измерения твердости [Текст] / Д. И. Лейкис, Е. К. Венстрем // Доклады академии наук СССР. - 1957. - Т. 112. - № 1. - С. 97 - 99.
2. Венстрем, Е. К. Электрокапиллярный эффект понижения твердости металлов [Текст] / Е. К. Венстрем, П. А. Ребиндер // Доклады академии наук СССР. - 1949. - Т. LXVIII. - № 2. - С. 329 - 332.
3. Новокрещенов, П. Д. Адсорбционный эффект при знакопеременном кручении в связи с проблемой усталости металлов [Текст] / П. Д. Новокрещенов, Н. Е. Маркова, П. А. Ребиндер // Доклады академии наук СССР. - 1949. - Т. LXVIII. -№ 3. - С. 349 - 352.
4. Урусовская, А. А. Эффекты магнитного воздействия на механические свойства и реальную структуру немагнитных кристаллов [Текст] / А. А. Урусовская [и др.] // Кристаллография. - 2003. - № 5. - С. 855 - 872.
5. Алыпиц, В. И. Магнитопластический эффект: основные свойства и физические механизмы [Текст] / В. И. Алыпиц [и др.] // Кристаллография. - 2003.-№5.-С. 826-854.
6. Головин, Ю. И. Магнитопластичность твердых тел (Обзор) [Текст] / Ю. И. Головин // Физика твердого тела. - 2004. - № 5. - С. 769 - 803.
7. Осипьян, Ю. А. Инверсия знака магнитопластического эффекта в монокристаллах Сбо при фазовом переходе sc - fee [Текст] / Ю. А. Осипьян [и др.] // Физика твердого тела. - 2001. - Т. 43. - Вып. 7. - С. 1333 - 1335.
8. Головин, Ю. И. Новый тип магнитопластических эффектов в линейных аморфных полимерах [Текст] / Ю. И. Головин, Р. Б. Моргунов // Физика твердого тела. - 2001. - № 5. - С. 827 - 832.
9. Моргунов, Р. Б. Корреляция между возникновением магнитопластического эффекта и изменениями спектров электронного парамагнитного резонанса после закаливания монокристаллов NaCl: Ей [Текст] / Р. Б. Моргунов, А. А. Баскаков // Физика твердого тела. - 2003. - Т. 45. - Вып. 1. - С. 91 - 94.
10. Осипьян, Ю. А. Влияние импульсного магнитного поля на микротвердость монокристаллов С6о [Текст] / Ю. А. Осипьян [и др.] // Письма в ЖЭТФ. - 1999. - № 2. - С. 110-113.
11. Головин, Ю. И. Влияние магнитного поля на пластичность, фото - и электролюминесценцию монокристаллов ZnS [Текст] / Ю. И. Головин [и др.] // Письма в ЖЭТФ. - 1999. - № 2. - С. 114 - 118.
12. Пинчук, А. И. Влияние постоянного магнитного поля и импульсного электрического тока на среднюю линейную плотность двойникующихся дислокаций в кристаллах висмута [Текст] / А. И. Пинчук, С. Д. Шаврей // Физика твердого тела. - 2001. -№ **8**. - С. 1416-1417.
13. Алыииц, В. И. Деформация кристаллов LiF в постоянном магнитном поле [Текст] / В. И. Алыпиц [и др.] // Физика твердого тела. - 2000. - № 2. - С. 270 - 272.
14. Алыпиц, В. И. О движении дислокаций в кристаллах NaCl под действием постоянного магнитного поля [Текст] / В. И. Алыпиц [и др.] // Физика твердого тела. - 1987. - № 2. - С. 467-471.
15. Дунин-Барковский, JI. Р. Влияние постоянного магнитного поля до 15Т на эффект Портевена-Ле Шателье в кристаллах NaCl: Ей [Текст] / Л. Р. Дунин- Барковский, Р. Б. Моргунов, Y. Tanimoto // Физика твердого тела. - 2005. - Т. 47. - Вып. 7. - С. 1241 - 1246.
16. Песчанская, Н. Н. Скачкообразная ползучесть при сжатии монокристаллов цинка в магнитном поле [Текст] / Н. Н. Песчанская, Б. И. Смирнов, В. В. Шпейзман // Физика твердого тела. - 2008. - № **6**. - С. 997 - 1001.
17. Головин, Ю. И. Обратимые и необратимые изменения пластических свойств кристаллов NaCl, вызванные действием магнитного поля [Текст] / Ю. И. Головин [и др.] // Физика твердого тела. - 1998. - № 11. - С. 2065 - 2068.
18. Урусовская, А. А. О влиянии магнитного поля на предел текучести и кинетику макропластичности кристаллов LiF [Текст] / А. А. Урусовская [и др.] // Письма в ЖЭТФ. - 1997. - № **6**. - С. 470 - 474.
19. Смирнов, Б. И. Влияние магнитного поля на скорость микропластической деформации монокристаллов Сбо [Текст] / Б. И. Смирнов, В. В. Шпейзман, Н. Н. Песчанская, Р. К. Николаев // Физика твердого тела. - 2002. - № 10. - С. 1915-1918.
20. Головин, Ю. И. Термодинамические и кинетические аспекты разупрочнения ионных кристаллов импульсным магнитным полем [Текст] / Ю. И. Головин, Р.

Б. Моргунов, В. Е. Иванов // Физика твердого тела. - 1997. - № 11. - С. 2016 - 2018.

1. Урусовская, А. А. Деформация кристаллов NaCl в условиях совместного действия магнитного и электрического полей [Текст] / А. А. Урусовская [и др.] // Физика твердого тела. - 2000. - № 2. - С. 267 - 269.
2. Пинчук, А. И. Магнитопластический эффект в случае двойникования кристаллов висмута под воздействием сосредоточенной нагрузки [Текст] / А. И. Пинчук, С. Д. Шаврей // Физика твердого тела. - 2001. - Т. 43, вып. 1. - С. 39-41.
3. Пинчук, А. И. Влияние постоянного магнитного поля на энергию клиновидных двойников кристаллов висмута [Текст] / А. И. Пинчук, С. Д. Шаврей // Изв. ВУЗов. Черная металлургия. - 2006. - № 4. - С. 20 - 22.
4. Тяпунина, Н. А. Влияние магнитного поля на дислокационную неупругость и пластичность кристаллов LiF с различными примесями [Текст] / Н. А. Тяпунина [и др.] // Физика твердого тела. - 2003. - № 1. - С. 95 - 100.
5. Тяпунина, Н. А. Влияние магнитного поля на неупругие свойства кристаллов LiF [Текст] / Н. А. Тяпунина, В. Л. Красников, Э. П. Белозерова // Физика твердого тела. - 1999. - № **6**. - С. 1035 - 1040.
6. Головин, Ю. И. Влияние постоянного магнитного поля на преодоление дислокациями короткодействующих препятствий в монокристаллах LiF [Текст] / Ю. И. Головин, Р. Б. Моргунов, С. Е. Жуликов // Физика твердого тела, 1997. - Т. 39. - № 3. - С. 495 - 496.
7. Алыпиц, В. И. Магнитопластический эффект: релаксация дислокационной структуры [Текст] / В. И. Алыпиц, Е. В. Даринская, О. Л. Казакова // Известия РАН. Серия физическая. - 1993. - Т. 57. - С. 2 - 11.
8. Алыпиц, В. И. «IN SITU» изучение магнитопластического эффекта в кристаллах NaCl методом непрерывного травления [Текст] //В. И. Алыпиц, Е.
9. Даринская, Е. А. Петржик // Физика твердого тела. - 1991. - Т.ЗЗ. - № 10. -
10. 3001 -3010.
11. Альшиц, В. И. Магнитопластический эффект в кристаллах NaCl, LiF и А1 в переменном магнитном поле [Текст] / В. И. Альшиц [и др.] // Физика твердого тела. - 1993.-Т. 35.-№ 1.-С. 70-72.
12. Молоцкий, М. И. Отрицательный магнитопластический эффект в немагнитных кристаллах [Текст] / М. И. Молоцкий // Физика твердого тела. - 1993. - Т. 35. - № 1.-С. 11-14.
13. Молоцкий, М. И. Возможный механизм магнитопластического эффекта [Текст] / М. И. Молоцкий // Физика твердого тела. - 1991. - Т. 33. - № 10. - С. 3112-3114.
14. Альшиц, В. И. Магнитопластический эффект в монокристаллах алюминия [Текст] / В. И. Альшиц, Е. В. Даринская, Е. А. Петржик // Физика твердого тела. - 1992.-№ 1.-С. 155- 158.
15. Альшиц, В. И. О природе влияния электрического тока на магнито­стимулированную микропластичность монокристаллов А1 [Текст] / В. И. Альшиц [и др.] // Письма в ЖЭТФ. - 1998. - № 10. - С. 788 - 793.
16. Головин, Ю. И. Влияние магнитных и электрических полей на состояние точечных дефектов в монокристаллах NaCl [Текст] / Ю. И. Головин [и др.] // Физика твердого тела. - 1998. -№ 12. - С. 2184 - 2188.
17. Макара, В. А. О влиянии постоянного магнитного поля на

электропластический эффект в кристаллах кремния [Текст] / В. А. Макара [и др.] // Физика твердого тела. - 2001. - № 3. - С. 462 - 465.

1. Вержаковская, М. А. Гетеродиффузия А1 в a-Fe в импульсном магнитном

поле [Текст] / М. А. Вержаковская, С. С. Петров, А. В. Покоев // Письма в

ЖТФ, 2007. - Т. 33. - Вып. 22. - С. 43 - 47.

1. Альшиц, В. И. Электростимуляция магнитопластичности и

магнитоупрочнения в кристаллах [Текст] / В. И. Альшиц [и др.] // Письма в ЖЭТФ. - 2008. - № 7. - С. 500 - 507.

1. Скворцов, А. А. Электростимулированный транспорт дислокаций в постоянном магнитном поле [Текст] / А. А. Скворцов, JI. И. Гончаров, А. М. Орлов // Физика твердого тела. - 2003. - № 9. - С. 1603 - 1607.
2. Марочник сталей и сплавов [Текст] / Под ред. В.Г. Сорокина. - М. : Машиностроение, 1989. - 640 с.
3. Анализ напряжений в пластине с несимметричным вырезом [Текст] / С.В. Коновалов, В.И. Базайкин, В.Е. Громов и др. // Вестник горно- металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии. - 2001. -Вып.**11**. - С.85-89.
4. Коновалов, С. В. Установка для исследования влияния внешних энергетических воздействий на ползучесть металлов [Текст] / С. В. Коновалов, А. С. Дружилов, В. Е. Громов // Известия вузов. Черная металлургия. - 2006. - № 12.-С. 61-62.
5. Коновалов, С. В. Автоматизированная установка для регистрации и анализа ползучести металлов и сплавов [Текст] / С.В. Коновалов [и др.] // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. - 2007. - № **8**. - т. 73. - С. 64 - **66**.
6. Дружилов, А. С. Исследовательский комплекс изучения ползучести [Текст] / А.С. Дружилов [и др.] // Заготовительные производства в машиностроении. -
7. -№ **2**. -С. 23-25.
8. Дружилов, А. С. Компьютерное сопровождение процесса исследования ползучести металлов [Текст] / А.С. Дружилов [и др.] // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. - 2006. - № 3. - С. 22 - 26.
9. РФ Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ в гос. реестре № 2011617677. Компьютерный комплекс фиксирования данных эксперимента при испытаниях на Ползучесть / А. С. Дружилов, С. В. Коновалов, С. Ю. Пронин, В. Е. Громов. - Заявка № 2011615904; (РФ); заявл. 09.08.2011; зарегистрировано 03.10.2011.
10. Зуев, JT. Б. Физика макролокализации пластического течения [Текст] / JI. Б. Зуев, В. И. Данилов, С. А. Баранникова. - Новосибирск : Наука, 2008. - 328 с.
11. Zuev, L. В. A self - excited wave model of plastic deformation in solids [Text] / L. B. Zuev, V. I. Danilov//Phil. Mag. A. - 1999. - Vol.79. -No.l. - P. 43 -45.
12. Данилов, В. И. Использование спекл-интерферометрии для исследования локализации деформации [Текст] / В. И. Данилов [и др.] // Заводская лаборатория. - 2006. - Т. 72. - № 12. - С. 40 - 45.
13. Невский, С. А. Методическое обеспечение исследования релаксации напряжений в металлах при внешних энергетических воздействиях [Текст] / С. А. Невский, С. В. Коновалов, В. Е. Громов // Вестник горно-металлургической секции РАЕН. Отделение металлургии. - 2009. - Вып.24. - С. 179 - 184.
14. Коновалов, С. В. Установка для исследования электростимулированной усталости [Текст] / С. В. Коновалов, Е. В. Семакин, О. В. Соснин [и др.] // Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии. - 2000. - Вып. 10. - С. 97 - 100.
15. Жмакин, Ю. Д. Совершенствование аппаратурного обеспечения электростимулированных процессов обработки металлов давлением [Текст] / Ю. Д. Жмакин, Д. В. Загуляев, С. В. Коновалов [и др.] // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. - 2009. - № 2. - Т.**6**. - С. 92 - 98.
16. Кузнецов, В. А. Генератор мощных токовых импульсов [Текст] / В. А. Кузнецов, Ю. Д. Жмакин, С. В. Коновалов [и др.] // Известия вузов. Черная металлургия. - 2008. - № **6**. - С. 51 - 53.

308. Пат. 2400927 Россия. МПК НОЗУ 3/53. Генератор мощных токовых импульсов для интенсификации процессов обработки металлов давлением / Ю. Д. Жмакин, Д. В. Загуляев, С. В. Коновалов [и др.]; (РФ). - № 2009140994/07; заявл. 05.11.2009; опубл. 27.09.2010, Бюл. № 27. - 9 с.

1. Жмакин, Ю. Д. Использование схем и групп включения трансформаторов в генераторе мощных токовых импульсов [Текст] / Ю. Д. Жмакин [и др.] // Промышленная энергетика. - 2009. - № **6**. - С. 10-13.
2. Жмакин, Ю. Д. Генератор мощных токовых импульсов на запираемых тиристорах [Текст] / Ю. Д. Жмакин, Д. В. Загуляев, С. В. Коновалов [и др.] // Промышленная энергетика. 2010.-№ **6**.-С. 39-41.
3. Жмакин, Ю. Д. Автоматизированный регулируемый генератор мощных токовых импульсов [Текст] / Ю. Д. Жмакин, Д. В. Загуляев, С. В. Коновалов [и др.] // Промышленная энергетика. 2011. - №1. - С. 28 - 31.
4. Ашкрофт, Н. Физика твердого тела [Текст]. Кн.1. / Н. Ашкрофт, Н. Мермин. - М. : Мир, 1979.-399 с.
5. Физические величины [Текст]: справочник/ под ред. И.С. Григорьева и Е.З. Мейлихова. - М. : Энергоатомиздат, 1991. - 1232 с.
6. Жмакин, Ю. Д. Соленоид из ферромагнитного материала[Текст] / Ю. Д. Жмакин, В. А. Рыбянец, Д. В. Загуляев [и др.] // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. - 2009. - Т. **6**. - № 4. - С. 58 - 60.
7. Муравьев, В. В. Скорость звука и структура сталей и сплавов [Текст] / В. В. Муравьев, JI. Б. Зуев, К. JI. Комаров. - Новосибирск: Наука, 1996. - 283 с.
8. Муравьев, В. В. Оценка накопления дефектов при усталости акустическим методом [Текст] / В. В. Муравьев, JI. Б. Зуев, К. JI. Комаров и др. // Проблемы машиностроения и надежности машин. - 1994. - № 4. - С. 103-107.
9. Чернявский, В. С. Стереология в металловедении / В. С. Чернявский. - М. : Металлургия, 1977. - 280 с.
10. Глаголев, А. А. Геометрические методы количественного анализа агрегатов под микроскопом [Текст] / А. А. Глаголев. - Львов : Госгеолиздат, 1941. - 264с.
11. Салтыков, С. А. Стереометрическая металлография [Текст] / С. А. Салтыков. - М.: Металлургия, 1970. - 376 с.
12. Конева, Н. А. Развороты кристаллической решетки и стадии пластической деформации [Текст] / Н. А. Конева, Д. В. Лычагин, Л. А. Теплякова [и др.] // Экспериментальное исследование и теоретическое описание дисклинаций. - Л. : ФТИ, 1984.-С. 161 - 164.
13. Конева, Н. А. Эволюция дислокационной структуры и стадии пластического течения поликристаллического железо-никелевого сплава [Текст] / Н. А. Конева, Д. В. Лычагин, С. П. Жуковский [и др.] // ФММ. - 1985. - Т. 60. - № 1. -С. 171-179.
14. Хирш, П. Электронная микроскопия тонких кристаллов [Текст] / П. Хирш,

А. Хови, Р. Николсон [и др.] - М. : Мир, 1968. - 574 с.

1. Конева, Н. А. Природа субструктурного упрочнения [Текст] / Н. А. Конева, Э. В. Козлов // Изв. вузов. Физика. - 1982. - № **8**. - С. 3 - 14.
2. Конева, Н. А. Полосовая субструктура в ГЦК-однофазных сплавах [Текст] / Н. А. Конева, Д. В. Лычагин, Л. А. Теплякова [и др.] // Дисклинации и ротационная деформация твердых тел. - Л.: ФТИ. 1988. - С. 103 - 113.
3. Теплякова, Л. А. Закономерности пластической деформации стали со структурой отпущенного мартенсита [Текст] / Л.А. Теплякова, Л.Н. Игнатенко, Н.Ф. 'Касаткина [и др.] // Пластическая деформация сплавов. Структурно­неоднородные материалы. - Томск. : ТГУ, 1987. - С. 26 - 51.
4. Одинг, И. А. Теория Ползучести и длительной прочности [Текст] / И. А. Одинг, В. С. Иванов, В. В. Бурдукский [и др.]. - М.: Метаплургиздат, 1959. - 488 с!
5. Кузнецов, Р. И. Пластическая релаксация в алюминии и меди [Текст] / Р. И. Кузнецов, В. А. Павлов, В. Т. Шматов // ФММ. - 1966. - Т. 21. - вып.2. - С. 265-267.
6. Борздыка, А. М. Релаксация напряжений в металлах и сплавах [Текст] / А. М. Борздыка, Л. Б. Гецов. - М.: Металлургия, 1978. - 256 с.
7. Харитонов, Л. Г. Определение микротвердости [Текст] / Л. Г. Харитонов. - М.: Металлургия, 1967. - 47 с.
8. Митропольский, А. К. Техника статистических вычислений [Текст] / А. К. Митропольский. - М. : ГИФМЛ, 1961. - 479 с.
9. Коновалов, С. В. Прочность и пластичность металлов при слабых электрических воздействиях [Текст] / С. В. Коновалов, Р. А. Филипьев, О. А.

Столбоушкина [и др.]. - Новокузнецк : Изд-во ОАО «Новокузнецкий полиграфический комбинат», 2009. - 180 с.

1. Коновалов, С. В. О влиянии электрического потенциала на скорость ползучести алюминия [Текст] / С. В. Коновалов, В. И. Данилов, JI. Б. Зуев, Р.

А. Филипьев, В. Е. Громов // Физика твердого тела. - 2007. - Т. 49. - Вып. **8**. -

С. 1389- 1391.

1. Коновалов, С. В. Влияние электрического потенциала на процесс деформации алюминия [Текст] / С. В. Коновалов, В. И. Данилов, JI. Б. Зуев [и др.] // Физическая мезомеханика. - 2006. - Т. 9. - С. 103 - 106.
2. Konovalov, S. V. Change of creep velocity of A1 under external energy influence [Text] / S. V. Konovalov, R. A. Filip’ev, V. I. Danilov [et al] // Перспективные материалы, Специальный выпуск, сентябрь 2007. Материалы IX Российско- Китайского Симпозиума "Новые материалы и технологии", 19-22 сентября 2007 г., Астрахань, Россия. (В 2-х томах) т. 2. - С. 371 - 373.
3. Загуляев, Д. В. Влияние внешних энергетических источников на скорость ползучести алюминия [Текст] / Д. В. Загуляев, Р. А. Филипьев, С. В. Коновалов [и др.] // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им Г.И. Носова. - 2008. - № 1 (21). - С. **68** - 70.
4. Котова, Н. В. Влияние электрического потенциала на скорость ползучести меди [Текст] / Н. В. Котова, С. В. Коновалов, В. Е. Громов // Вестник РАЕН. Отделение металлургии. - 2008. - № 21. - С. 237 - 239.
5. Коновалов, С. В. Влияние слабых энергетических воздействий на ползучесть металлов [Текст] / С. В. Коновалов, Р. А. Филипьев, Н. В. Котова [и др.] // Известия вузов. Черная металлургия. - 2008. - № 12. - С. 38 - 40.
6. Лихтман, В. И. Физико-химическая механика металлов [Текст] / В. И. Лихтман, Е. Д. Щукин, П. А. Ребиндер. - М. : АН СССР, 1962. - 303 с.
7. Гохштейн, А. Я. Поверхностное натяжение твердых тел и адсорбция [Текст] / А. *Я.* Гохштейн. - М. : Наука, 1976. - 400 с.

**!**

1. Столбоушкина, О. А. Роль слабых электрических потенциалов в формировании поверхности разрушения А1 при ползучести [Текст] / О. А. Столбоушкина, С. В. Коновалов, Ю. Ф. Иванов [и др.] // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. - 2008. -№4.-С. 14-16.
2. Иванов, Ю. Ф Влияние электрического потенциала на поверхность разрушения алюминия при ползучести [Текст] / Ю. Ф. Иванов, С. В. Коновалов, О. А. Столбоушкина [и др.] // Вестник ЮУрГУ. Серия «Математика, физика, химия». - 2009. - Вып. 1. - № 22 (155). - С. **66** - 71.
3. Коновалов, С. В. Роль электрического потенциала в ускорении ползучести и формировании поверхности разрушения А1 [Текст] / С. В. Коновалов, Ю. Ф. Иванов, О. А. Столбоушкина [и др.] // Известия РАН. Серия физическая. - 2009.-Т. 73. -№ 9. - С. 1315-1318.
4. Иванов, Ю. Ф Эволюция поверхности разрушения алюминия, формирующейся при ползучести с наложением потенциала [Текст] / Ю. Ф. Иванов, С. В. Коновалов, О. А. Столбоушкина [и др.] // Физика и химия обработки материалов. - 2009. - № 5. - С. 80-83.
5. Столбоушкина, О. А. Структурно-фазовые состояния и дислокационная субструктура А1 при ползучести [Текст] // О. А. Столбоушкина, С. В. Коновалов, Ю. Ф. Иванов [и др.] - Новокузнецк : Изд-во ОАО «Новокузнецкий полиграфический комбинат», 2010.-125 с.
6. Старовацкая, С. Н. Влияние электрического потенциала на изменение фрактальной размерности поверхности разрушения алюминия при ползучести [Текст] / С. Н. Старовацкая, С. В. Коновалов, В. Е. Громов [и др.] // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. - 2010. - № 4. - Т. 7.-С. 52-56.
7. Konovalov, S. V. Dislocation substructure gradient formation in aluminum by creep under weak potential [Text] / S. V. Konovalov, Yu. F. Ivanov, O. A. Stolboushkina [et al] // The Arabian journal for science and engineering. - 2011. - N36.-P. 649-653.
8. Столбоушкина, О. А. Особенности формирования дислокационной субструктуры при ползучести алюминия в условиях приложенного потенциала [Текст] / Столбоушкина О.А., Коновалов С.В., Иванов Ю.Ф. и др. // Перспективные материалы. - 2011. - № 1. - С. 47 - 52.
9. Энгеле Л. Растровая электронная микроскопия. Разрушение [Текст] / Л. Энгеле, Г. Клингеле: Справочное изд. Пер. с нем. - М. : Металлургия, 1986. - 232 с.
10. Утевский, Л. М. Дифракционная электронная микроскопия в металловедении [Текст] / Л. М. Утевский. - М. : Металлургия, 1973. - 584 с.
11. Иванова B.C. Количественная фрактография. Усталостное разрушение [Текст] / В. С. Иванова, А. А. Шанявский. - Челябинск : Металлургия. Челябинское отделение, 1988. - 400 с.
12. Gromov, V. Е. Dislocation substructure evolution on A1 creep under the action of the weak electric potential [Text] / V. E. Gromov, Yu. F. Ivanov, O. A. Stolboushkina [et al] // Materials Science and Engineering A 527. - 2010. - P. 858 - 861.
13. Иванов, Ю. Ф. Формирование тонкой структуры и поверхности разрушения А1 под действием слабых электрических потенциалов [Текст] / Ю. Ф. Иванов,

С. В. Коновалов, О. А. Столбоушкина [и др.] // Машиностроение и инженерное образование. - 2009. - № 4(21). - С. 17 - 24.

1. Иванов, Ю. Ф. Влияние электрического потенциала на эволюцию дефектной субструктуры и поверхности разрушения алюминия при ползучести» [Текст] / Ю. Ф. Иванов, С. В. Коновалов, О. А. Столбоушкина [и др.] // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. — 2010. — №1. - С. 57-63.
2. Столбоушкина, О. А. Формирование тонкой субструктуры алюминия при ползучести с действием электрического потенциала [Текст] / О. А. Столбоушкина [и др.] // Материаловедение. - 2010. - № **8**. - С. 12-16.
3. Коновалов, С. ■ В. Закономерности формирования дислокационных

субструктур при ползучести А1 при действии слабых электрических

потенциалов [Текст] / С. В. Коновалов, Ю. Ф. Иванов, О. А. Столбоушкина [и др.] // Вестник Адыгейского государственного университета. - 2010. - Вып. 2(61).-С. 75-83

1. Столбоушкина, О. А. Градиент дислокационной субструктуры,

формирующийся при ползучести алюминия при действии слабых потенциалов [Текст] / О.А. Столбоушкина [и др.] // Вестник Челябинского университета. Серия: Физика. -2010. -№24(205). - Вып. **8**. - С. 31 - 34.

1. Столбоушкина, О. А. Роль электрического потенциала в формировании

поверхности разрушения технически чистого алюминия при ползучести [Текст] / О. А. Столбоушкина и др. // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. - 2010. - Том 15, вып.З. - С. 829 - 830.

1. Громов, В. Е. Физика и механика волочения и объемной штамповки [Текст] / В. Е. Громов, Э. В. Козлов, В. И. Базайкин [и др.] - М. : Недра, 1997. - 293 с.
2. Конева, Н. А. Дальнодействующие поля напряжений, кривизна-кручение кристаллической решетки и стадии пластической деформации. Методы измерений и результаты [Текст] / Н.А. Конева [и др.] // Новые методы в физике и механике деформируемого твердого тела. Сб. трудов международной конференции. - Томск: ТГУ, 1990. - С. 83 - 93.
3. Myshlyaev, М. М. Basic processes of creep and their investigation in EM [Text] / М. M. Myshlyaev // Kristall und Technik. - 1979. - V.14. - № 10. - P. 1185 - 1196.
4. Рыбин, В. В. Большие пластические деформации и разрушение металлов [Текст] / В. В. Рыбин. - М.: Металлургия, 1986. - 224 с.
5. Паінин, В. Е. Структурные уровни деформации твердых тел [Текст] / В. Е. Панин, В. А. Лихачев, Ю. В. Гриняев. - Новосибирск: Наука, 1985. - 229 с.
6. Владимиров, В. И. Дисклинации в кристаллах [Текст] / В. И. Владимиров,

А. Е. Романов. - Л.: Наука, 1986. - 222 с.

1. Труды международного семинара «Влияние электромагнитных полей на структуру и свойства материалов [Текст] / под ред. Ю.В. Баранова, В.Е. Громова, Г. Танга. - Новокузнецк : Новокузнецкий полиграфический комбинат, 2008. - 308 с.
2. Петрунин, В. А. Влияние электрического потенциала на формирование дислокационной субструктуры при ползучести алюминия [Текст] / В. А. Петрунин, С. В. Коновалов, О. А. Столбоушкина [и др.]. - Металлы. - 2011. - №3.-С. 31 -37.
3. Данилов, В. И. Макролокализация пластической деформации при ползучести мелкокристаллического алюминия [Текст] / В. И. Данилов, С. В. Коновалов, С. В. Журавлева [и др.] // Журнал технической физики. - 2005. - Т. 75. - Вып. 3.- С. 94-97.
4. Данилов, В. И. Волны деформации в монокристаллах сплава Cu-Ni-Sn [Текст] / В. И. Данилов [и др.] // ФММ. - 1994. - Том 78. - Вып. 1. - С. 141-146.
5. Баранникова, С. А. Локализация деформации растяжения в монокристаллах легированного gamma-Fe с углеродом [Текст] // Журнал технической физики. - 2000. - Том 70. - Вып. 10. - С. 138 - 150.
6. Данилов, В. И. Автоволны локализованной деформации на начальных стадиях пластического течения монокристаллов [Текст] / В. И. Данилов, С. А. Баранникова, Л. Б. Зуев // Журнал технической физики. - 2003. - Т. 73. - Вып. 11.-С. 69-75.
7. Зуев, Л. Б. Пространственно-временное упорядочение при пластическом течении твердых тел [Текст] / Л. Б. Зуев, В. И. Данилов, Б. С. Семухин // Успехи физ. мет. - 2002. - Том 3. - С. 237 - 304.
8. Данилов, В. И. Прямое наблюдение автоволны пластической деформации в циркониевом сплаве [Текст] / В. И. Данилов [и др.] // Письма в журнал технической физики. - 199 . - Том 24. - № 1. - С. 26 - 30.
9. Данилов, В. И. Макролокализация пластической деформации при ползучести поликристаллического алюминия [Текст] / В. И. Данилов, А. А. Яворский, JI. Б. Зуев [и др.] // Известия Вузов. Физика. - 1991. - №4. - С. 5 - 9.
10. Гарофало, Ф. Законы ползучести и длительной прочности металлов и сплавов [Текст] / Ф. Гарофало. - Пер. с англ. - М. : Металлургия, 1968. - 304с.
11. Инденбом, В. JI. Термоактивационный анализ пластической деформации [Текст] / В. JI. Инденбом, А. Н. Орлов, Ю. 3. Эстин // Элементарные процессы пластической деформации кристаллов. - Киев: Наукова думка, 1978. - С. 93 - 112.
12. Зуев, J1. Б. О влиянии контактной разности потенциалов и электрического потенциала на микротвердость металлов [Текст] / JI. Б. Зуев, В. И. Данилов, С.

В. Коновалов [и др.] // Физика твердого тела. - 2009. - Т. 51. - Вып. **6**. - С. 1077- 1080.

1. Петрунин, В. А. Влияние электрического потенциала на микротвердость кремнистого железа [Текст] / В. А. Петрунин, С. В. Коновалов, О. А. Столбоушкина [и др.] // Вестник РАЕН. Отделение металлургии. - 2009. - № 23.-С. 153 - 156.
2. Коновалов, С. В. Влияние слабых электрических потенциалов на микротвердость металлов и сплавов [Текст] / С. В. Коновалов, Р. А. Филипьев, О. А. Столбоушкина [и др]. // Вестник РАЕН. Отделение металлургии. - 2008. -№22.-С. 201 -208.
3. Филипьев, Р. А. Влияние электрического потенциала на характер изменения поверхностного натяжения железа [Текст] / Р. А. Филипьев, С. В. Коновалов,

В. А. Петрунин [и др.] // Металлы. - 2011. - №1. - С. 105- 108.

379. Konovalov, S. V. Contact electric potential influences of the microhardness of metals [Text] / S. V. Konovalov, F. A. Filipiev, L. B. Zuev [et al] // Metalurgija. - 2012.-Vol.51.-No.3. -P. 404.

1. Филипьев, P. А. Влияние электрического потенциала на микротвердость металлов и сплавов [Текст] / Р. А. Филипьев [и др.] // Физика и химия

высокоэнергетических систем: сборник материалов IV Всероссийской

конференции молодых ученых. - Томск : Изд-во ТМЛ-Пресс, 2008. - С. 155 —

157.

1. Филипьев, Р. А. Влияние электрического контакта, создаваемого источником внешнего потенциала и разнородными металлами на микротвердость [Текст] / Р. А. Филипьев [и др.] // Радиационно - термические эффекты и процессы в неорганических материалах: труды VI Международной научной конференции. - Томск: Изд-во ТПУ, 2008. - С. 851 - 855.
2. Филипьев, Р. А. Влияние электрического потенциала на изменение ряда физических свойств металлов [Текст] / Р. А. Филипьев [и др.] // Наука. Технологии. Инновации: материалы Всероссийской научной конференции молодых ученых. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2008. - С. 128 - 130.
3. Филипьев, Р. А. Влияние электрических контактов разнородных металлов на процесс низкотемпературной ползучести алюминия [Текст] / Р. А. Филипьев [и др.] // Электрические контакты и электроды: труды Института проблем материаловедения им И.Н. Францевича НАН Украины. Серия «Композитные, слоистые и градиентные материалы и покрытия». - Киев: Изд-во Института проблем материаловедения им И.Н. Францевича НАН Украины, 2008. - С. 199 -**202**.
4. Филипьев, Р. А. Влияние внешних энергетических воздействий на микротвердость алюминия [Текст] / Р. А. Филипьев [и др.] // Наука и молодежь: Проблемы, поиски, решения: труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. - Новокузнецк : Изд- во СибГИУ. 2008. - Вып. 13. 4.4. Технические науки. - С. **88** - 91.
5. Филипьев, Р. А. Изменение физических свойств металлов и сплавов при воздействии электрического потенциала [Текст] / Р. А. Филипьев [и др.] // Сборник трудов IX Международной научно-технической Уральской школы- семинара металловедов-молодых ученых. - Екатеринбург : УГТУ-УПИ, 2008. -С. 107- 109.
6. Филипьев, Р. А. Изменение твердости алюминия и меди при внешнем энергетическом воздействии [Текст] / Р. А. Филипьев [и др.] // Металлургия: технологии, управление, инновации, качество: труды XII Всероссийской научно- практической конференции. - Новокузнецк : Изд-во СибГИУ, 2008. - С. 184 — 188.
7. Коновалов, С. В. Влияние слабых электрических потенциалов на

микротвердость металлов и сплавов [Текст] / С. В. Коновалов, Р. А. Филипьев [и др.] // Вестник РАЕН. Отделение металлургии. - 2008. - № 22. - С. 201 -

208.

1. Filipiev, R. A. Influence of the electric potential on the microhardness of metals and alloys [Text] / R. A. Filipiev [etc.] // Electromagnetic fields effect on the structure and characteristics of materials. - Novokuznetsk: Public Corporation “Novokuznetskii Polygraph center”, 2007. - P. 94 - 101.
2. Филипьев, P. А. Влияние внешних энергетических воздействий на

пластичность металлов [Текст] / Р. А. Филипьев [и др.] // Физика и химия высокоэнергетических систем: сборник материалов V Всероссийской

конференции молодых ученых. - Томск: Изд-во ТМЛ-Пресс, 2009. - С. 226 -

227.

1. Петрунин, В. А. Влияние электрического потенциала на микротвердость кремнистого железа [Текст] / В. А. Петрунин, С. В. Коновалов, О. А. Столбоушкина [и др.] // Вестник РАЕН. Отделение металлургии. - 2009. - № 23.-С. 153 - 156.
2. Филипьевт Р. А. Влияние электрических потенциалов на микро- и

нанотвердость металлов и сплавов [Текст] / Р. А. Филипьев [и др.] //Структурно-фазовые состояния перспективных материалов / отв.ред. В.Е. Громов. - Новокузнецк : Изд-во НПК, 2009. - С. 12-28

1. Коновалов, С. В. Управление пластичностью металлов слабыми

электрическими воздействиями [Текст] / С. В. Коновалов, Н. В. Котова, О. А.

Столбоушкина [и др.] // Вестн. Новосибирского гос. ун-та. Сер. : Физика. -

1. -Т. 4, №4. -С. 65-70.
2. Котова, Н. В. Влияние электрического потенциала на скорость ползучести меди [Текст] / Н. В. Котова, С. В. Коновалов, В. Е. Громов // Вестник РАЕН. Отделение металлургии : сборник научных трудов. - Новокузнецк: Изд-во СибГИУ, 2008. - Вып. 21. - С. 237-239.
3. Котова, Н. В. Исследование влияния электрического потенциала на процесс ползучести меди [Текст] / Н. В. Котова, С. В. Коновалов, JI. Б. Зуев, В. Е. Громов [и др.] // Актуальные проблемы прочности : материалы XLVII Международной конференции. - Н. Новгород: НовГУ, 2008. - Ч. 2. - С. 69 - 70.
4. Котова, Н. В. Влияние малых потенциалов на процесс ползучести меди [Текст] / Н. В. Котова, С. В. Коновалов, В. Е. Громов // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения : материалы Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. - Новокузнецк : Изд-во СибГИУ,
5. - С. 94 - 96.
6. Котова, Н. В. Изменение микротвердости алюминия и меди при внешнем энергетическом воздействию [Текст] / Н. В. Котова, Р. А. Филипьев, С. В. Коновалов [и др.] // Металлургия: технологии, управление, инновации, качество : сборник трудов XII Всероссийской научно-практической конференции. - Новокузнецк : Изд-во СибГИУ, 2008. - С. 181 - 185.
7. Котова, Н. В. Влияние слабых потенциалов на пластичность меди [Текст] / Н. В. Котова, С.В. Коновалов, В.Е. Громов // Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности : сборник трудов VII Международной научно-практической конференции. - СПб : Изд-во Политехнического ун-та, 2009. - Т. 1. - С. 213 - 214.
8. Котова, Н. В. Влияние внешних энергетических воздействий на пластичность металлов [Текст] / Н. В. Котова, С. В. Коновалов, Д. В. Загуляев [и др.] // Физика и химия высокоэнергетических систем : сборник материалов

V Всероссийской конференции молодых ученых. - Томск : ТМЛ-пресс, 2009. -

С. 226-227.

1. Котова, Н. В. Электрическое заряжение поверхности и исследование его влияния на микротвердость меди [Текст] / Н. В. Котова, С. В. Коновалов, Л. Б. Зуев [и др.] // Актуальные проблемы современного материаловедения : труды Всероссийской конференции с элементами научной школы для молодежи. - Юрга : Изд-во ТПУ, 2009. - С. 162 - 165.
2. Котова, Н. В. Роль длительности подключения электрического потенциала к меди в изменении ее микротвердости [Текст] / Н. В. Котова, С. В. Коновалов, Л. Б. Зуев [и др.] // Вестник РАЕН. Отделение металлургии. - 2010. - Вып. 25. -С. 103- 105.
3. Котова, Н. В. О влиянии электрического потенциала различной природы на ползучесть и микротвердость меди [Текст] / Н. В. Котова, С.В. Коновалов, В.Е. Громов // XIX Петербургские чтения по проблемам прочности : тезисы докладов. - Санкт-Петербург: Изд-во СПГУ, 2010. - С. 299 - 301.
4. Котова, Н. В. О характере влияния на микротвердость меди режима подключения электрического потенциала [Текст] / Н. В. Котова, С.В. Коновалов, В.Е. Громов // Современные техника и технологии : сборник трудов XVI Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых. — Томск: Изд-во ТПУ, 2010. — С. 120 - 121.
5. Котова, Н. В. О релаксации микротвердости меди после электрического воздействия [Текст] / Н. В. Котова, С.В. Коновалов, В.Е. Громов // Перспективы развития фундаментальных наук : сборник трудов VII

Международной конференции студентов и молодых ученых. - Томск: Изд-во ТПУ,'2010. - С. 121 - 123.

1. Котова, Н. В. Влияние электрического потенциала на процесс ползучести меди [Текст] / Н. В. Котова, С.В. Коновалов, В.Е. Громов // Современные техника и технологии : материалы XIV Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых. - Томск : Изд-во ТПУ, 2008. - Т. 2. -С. 82-83.
2. Котова, Н. В. Исследование микротвердости меди при воздействии электрического потенциала [Текст] / Н. В. Котова, С. В. Коновалов, В. Е. Громов // Наука. Технологии. Инновации : материалы Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. - Новосибирск : Изд- во НГТУ, 2008.-С. 79-81.
3. Крэкнелл, А. Поверхность Ферми [Текст] / А. Крэкнелл, К. Уонг. - М. : Атомиздат, 1978. - 350 с.
4. Адам, Н. К. Физика и химия поверхностей [Текст] / Н. К. Адам. - М. : ГИТТЛ, 1947.-552 с.
5. Корепанов, М. А. Расчет коэффициента поверхностного натяжения [Текст] / М. А. Корепанов // Вестник ИжГТУ. - 2006. - № 1. - С. **6** - 9.
6. Рожанский, В. Н. Неравномерности пластической деформации кристаллов [Текст] / В. Н. Рожанский // УФН. - 1958. - Т. 65. - В. 3. - С. 387 - 406.
7. Кунин, Л. Л. Поверхностные явления в металлах [Текст] / Л. Л. Кунин. - М. : Металлургиздат, 1955. - 304 с.
8. Кайбышев, О. А. Пластичность и сверхпластичность металлов [Текст] / О.

А. Кайбышев. - М. : Металлургия, 1975. - 280 с.

1. Алехин, В. П. Физика прочности и пластичности поверхностных слоев материалов [Текст] / В. П. Алехин. - М. : Наука, 1983. - 280 с.
2. Мильман, Ю. В. Масштабная зависимость твердости и характеристики пластичности, определяемой при индентировании [Текст] / Ю. В. Мильман, С. Н. Дуб, А. А. Голубенко // Деформация и разрушение материалов. - 2008. - № **8**.-С. 3- 10.
3. Бойко Ю. И. Экспериментальное обнаружение увлечения дислокаций электронным ветром в металлах [Текст] / Ю. И. Бойко, Я. Е. Гегузин, Ю. И. Клинчук // Письма в ЖЭТФ. - 1979. - Т. 30. - С. 168 - 172.
4. Гайдученя, В. Ф. Количественные параметры быстрой релаксации напряжений в гранулированном высокопрочном алюминиевом сплаве [Текст] /

В. Ф. Гайдученя, Э. Б. Калмыков, В. В. Мишакин [и др.] // ФММ. - 1988. - Т.65. - Вып.**6**. - С. 1186-1190.

1. Dotsenko, V. I. Stress relaxation in crystals [Текст] / V. I. Dotsenko // Physica Status Solidi (b). - 1979. - V.93. -№ 1.-P. 11-43.
2. Борзыка, А. М. Релаксация напряжений в металлах и сплавах [Текст] / А. М. Борзыка, JI. Б. Гецов. - М.: Металлургия, 1978.-256 с.
3. Владимиров, В. И. Физическая теория пластичности и прочности. 4.2. Точечные дефекты. Упрочнение и возврат [Текст] / В. И. Владимиров. - Л.: ЛПИ, 1975.- 152 с.
4. Ишлинский, А. Ю. Математическая теория пластичности [Текст] / А. Ю. Ишлинский, Д. Д. Ивлев. - М.: Физматлит, 2001. - 704 с.
5. Штремель, М. А. Прочность сплавов. 4.1. Дефекты решетки [Текст] / М. А. Штремель. - М.: МИСИС, 1999. - 384 с.
6. Петрунин, В. А. Моделирование процессов электростимулированного воздействия на металлы [Текст] / В. А. Петрунин, О. В. Соснин, С. В. Коновалов [и др.] // Известия вузов. Черная металлургия. - 2004. - № **6**. - С.30 -34.
7. Фрид ель, Ж. Дислокации [Текст] / Ж. Фрид ель: Пер с франц. - М. : Мир, 1967.-643 с.
8. Ровинский, Б. М. Механизмы релаксационных явлений в твердых телах [Текст] / Б. М. Ровинский, Г. С. Воротников / Под ред. B.C. Постникова и Л.К. Гордиенко. -М. : Наука, 1972. - С. 5.
9. Баранов, Ю. В. Эффект А.Ф. Иоффе на металлах [Текст] / Ю. В. Баранов. - М. : МГИУ, 2005.- 140 с.
10. Невский, С. А. Изменение активационного объема процесса релаксации напряжений в алюминии при подключении различных металлов [Текст] / С. А.

Невский, С. В. Коновалов, В. Е. Громов // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. - 2010. - Т. 15, вып.З. - С. 827 - 828.

1. Невский, С. А. Изменение активационного объема процесса релаксации напряжений алюминия при действии слабых электрических потенциалов и подключении различных металлов [Текст] / С. А. Невский, С. В. Коновалов, В. Е. Громов // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. -
2. -Т. 7. -№ 1.-С. 17-20.
3. Петрунин, В. А. О влиянии слабых электрических воздействий на релаксацию напряжений [Текст] / В. А. Петрунин, С. А. Невский, С. В. Коновалов [и др.] // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Серия: Естественные и технические науки. - 2011. - №2(115). Март. - С. 85 - **88**.
4. Невский, С. А Влияние слабых электрических потенциалов на процесс релаксации напряжений в алюминии [Текст] / С.А. Невский, С. В. Коновалов,

С. В. Воробьев и др. // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия «Естественно-математические и технические науки». 2010. Вып. 1(53). -

С. 90-95.

1. Невский, С. А. Релаксация напряжений алюминия при подключении разнородных металлов [Текст] / С.А. Невский, С.В. Коновалов, В.Е. Громов // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. - 2010. - № **6**. -С. 49-51.
2. Невский, С. А. Изменение параметров релаксации напряжений алюминия А 85 под влиянием электрического потенциала при различных температурах [Текст] / С.А. Невский, С.В. Коновалов, В.Е. Громов // Вестник ЮУрГУ, Серия «Математика. Механика. Физика». - 2010. - Вып. 3. - № 30(206). - С.74 - 78.
3. Невский С. А. Влияние электрического потенциала поверхности алюминия на процесс релаксации напряжений [Текст] / С. А. Невский, С. В. Коновалов, В. Е. Громов // Журнал технической физики. - 2011. - Т.81, вып. **6**. -С. 133- 136.
4. Петрунин, В. А. Исследование релаксации напряжений при изменении электрического потенциала поверхности алюминия, деформированного сжатием [Текст] / В. А. Петрунин, С. А. Невский, С. В. Коновалов и др. // Вестник Тамбовского университета. Сер. Естественные и технические науки. -
5. -Т. 16.-Вып. 3.-С. 826-828.
6. Иванов, Ю. Ф. Влияние электрического потенциала на процесс перестройки дислокационных субструктур алюминия при релаксации напряжений [Текст] / Ю. Ф. Иванов, С. А. Невский, С. В. Коновалов [и др.] // Научно-технические ведомости СПбГПУ. - 2011. - № 1. - С.78 - 81.
7. Невский, С. А. Эволюция дислокационной субструктуры алюминия при релаксации напряжений в условиях слабых электрических воздействий [Текст] / С. А. Невский, Ю. Ф. Иванов, С. В. Коновалов [и др.] // Вопросы материаловедения. - 2011. - № 4. - С. 45 - 51.
8. Невский, С. А. Влияние внешних электрических воздействий на процесс релаксации механических напряжений алюминия [Текст] / С. А. Невский, С. В. Коновалов, С. Н. Кульков [и др.]. // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. - 2011. - № 4. - С. 23 - 26.
9. Седов, Л. И. Механика сплошной среды [Текст] / JI. И. Седов. - М.: Наука, 1970.-Т. 1.-491 с.
10. Безухов, Н. И. Основы теории упругости, пластичности и ползучести [Текст] / Н.И. Безухов. - М.: Высшая школа, 1968. - 512 с.
11. Загуляев, Д. В. Влияние воздействия слабого магнитного поля на скорость ползучести металлов [Текст] / Д. В. Загуляев, С. В. Коновалов, В. Е. Громов // Известия вузов. Черная металлургия. - 2009. - № 2. - С. 50 - 51.
12. Загуляев, Д. В. Ползучесть поликристаллического А1 в постоянном магнитном поле [Текст] / Д. В. Загуляев, С. В. Коновалов, В. Е. Громов // Вестник Челябинского государственного университета. Серия: Физика. - 2009. -№24.-С. 49-53.
13. Molotskii, М. I. Magnetic effect’s in electroplasticity of metals [Text] / М. I. Molotskii V. N. Fleurov // Phys. Rev. - 1995. - V. B52. - № 22. - P. 15829 - 15834.
14. Molotskii, М. I. Internal friction of dislocations in magnetic field [Text] / М. I. Molotskii R. E. Kris, V. N. Fleurov // Phys. Rev. - 1995. - V. B51. - № 18. - P. 12531-12536.
15. Alshits, V. I. Magnetoplastic Effect in Nonmagnetic Crystals [Text] / V. I. Alshits [et al.] // Dislocations in Solids. - 2008. - V. 14. - P. 333 - 437.
16. Данилов, В. И. Макролокализация пластической деформации при ползучести алюминия [Текст] / В. И. Данилов [и др.] // ЖТФ. - 2005. - Т. 25. - № 3. - С. 92-95.
17. Альшиц, В. И. Магнитопластический эффект и спин-решеточная релаксация в системе дислокация - парамагнитный центр [Текст] / В. И. Альшиц [и др.] // Письма в ЖЭТФ. - 1996. - № **8**. - С. 628 - 633.
18. Мазанко, В. Ф. Диффузионные процессы в металлах под действием магнитных полей и импульсных деформаций [Текст]: в 2 т. Т.2. / В. Ф. Мазанков, А. В. Покоев, В. М. Миронов. - Самара: Самарский университет, 2006.-319 с.
19. Изгодин, А. К. Исследование прочностных свойств ферромагнитного сплава Fe-Si-Al в магнитном поле [Текст] / А. К. Изгодин, Г. А. Шипко // ФММ. - 1983. - Т. 56. - В. **6**. - С. 1227 - 1230.
20. РФ Свидетельство о государственной регистрации базы данных в гос. реестре № 2011620853. Микротвердость технически чистого А1 марки А85 в постоянном магнитном поле с индукцией до 0,3 Тл / Д. В. Загуляев, С. В. Коновалов, С. Ю. Пронин, В. Е. Громов. - Заявка № 2011620738; (РФ); заявл. 04.10.2011; зарегистрировано 30.11.2011.
21. Загуляев, Д. В. Влияние импульсного магнитного поля на микротвердость алюминия [Текст] / Д. В. Загуляев, С. В. Коновалов, В. Е. Громов // Вестник поморского университета. Серия «Естественные науки». - 2010. - № 4. - С. 90 -93.
22. Загуляев, Д. В. Влияние магнитного поля на эволюцию дефектной субструктуры и поверхность разрушения алюминия при ползучести [Текст] / Д. В. Загуляев, С. В. Коновалов, Ю. Ф. Иванов [и др.] // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Физика, математика. - 2010. - № 2. -

С. 215-220.

1. Коновалов, С. В. Влияние магнитного поля на поверхность разрушения алюминия при ползучести [Текст] / С. В. Коновалов, Д. В. Загуляев, Ю. Ф. Иванов и др. // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. -2011. - № 2 (1). - С. 33 -37.
2. Загуляев, Д. В. Особенности дислокационной структуры алюминия, формирующейся при ползучести в магнитном поле [Текст] / Д. В. Загуляев, Ю. Ф. Иванов, С. В. Коновалов [и др.] // Деформация и разрушение материалов. -
3. -№5.-С. 8-12.
4. Фрактография и атлас фрактограмм [Текст] / Справ, изд. Пер. с англ. Под ред. Дж. Феллоуза. - М. : Металлургия, 1982. - 490 с.
5. Козлов, Э. В. Градиентные структурно фазовые состояния в твердых телах [Текст] / Э. В. Козлов, А. М. Глезер, В. Е. Громов // Известия РАН. Серия Физическая. - 2003. - Т. 67, №10. - С. 1374.
6. Громов, В. Е. Градиентные структурно-фазовые состояния в рельсовой стали [Текст] / В. Е. Громов, В. А. Бердышев, Э. В. Козлов и др. - М. : Недра ком. ЛТД, 2000. - 176 с.
7. Козлов, Э. В. Градиентные структуры в перлитной стали [Текст] / Э.В. Козлов, В.Е. Громов, В.В. Коваленко и др. - Новокузнецк : Изд. СибГИУ, 2004. - 224 с.
8. Иванов, Ю. Ф. Градиентные структурно-фазовые состояния в сталях [Текст] / Ю. Ф. Иванов, В. В. Коваленко, Э. В. Козлов [и др.]. - Новосибирск : Наука,
9. -280 с.
10. Конева, Н. А. Спектр и источники полей внутренних напряжений в деформированных металлах и сплавах [Текст] / Н. А. Конева, JI. И. Тришкина, Э. В. Козлов // Изв. АН. Серия физическая. - 1998. - Т.62. - № 7. - С. 1352 - 1258.
11. Hughes, D. A. Microstructural Evolution in Nickel during Rolling from Intermediate to Large Strains [Text] / D. A. Hughes, N. Hansen // Met. Trans. - 1993. - V.24A. - № 9. - P. 2021 - 2037.
12. Иванов, Ю. Ф. Физические основы повышения усталостной долговечности нержавеющих сталей [Текст] / Ю. Ф. Иванов, С. В. Воробьев, С. В. Коновалов [и др.]. - Новокузнецк : Изд-во «Интер-Кузбасс», 2011. - 302 с.
13. Ефименко, С. П. Эволюция субструктуры при горячей прокатке высокоазотистой аустенитной стали Х18АГ15 [Текст] / С. П. Ефименко, Э. В. Козлов, JI. А. Теплякова [и др.] // Металлы. - 1995. - № 5. - С. 30 - 36.
14. Богачев, И. Н. Структура и свойства железомарганцевых сплавов [Текст] / И. Н. Богачев, В. Ф. Еголаев. - М. : Металлургия, 1973. - 295 с.
15. Лысак, Л. И. Физические основы термической обработки стали [Текст] / Л. И. Лысак, Б. И. Николин. - Киев : Техника, 1975. - 304 с.
16. Иванов, Ю. Ф. Мезоскопическая структура и электростимулированное подавление усталостного разрушения [Текст] / Ю. Ф. Иванов, Д. В. Лычагин,

В. Е. Громов [и др.] // Физическая мезомеханика. - 2000. - №3. - С 103 - 108.

1. Конева, Н. А. Эволюция субструктуры и зарождение разрушения [Текст] / Н. А. Конева, Л. И. Тришкина, Э. В. Козлов // «Современные вопросы физики и механики материалов». - Санкт-Петербург : НИИ НМ С-ПбГУ, 1997. - С. 322-332.
2. Konovalov, S. V. Evolution of dislocation substructures in fatigue loaded and failed stainless steel with the intermediate electropulsing treatment [Text] / S. V. Konovalov, A. A. Atroshkina, Yu. F. Ivanov, V.E. Gromov // Materials Science and Engineering A. - 2010. - V. 527. - P. 3040 - 3043.
3. Коновалов, С. В. Индуцированный усталостными испытаниями градиент фазового состава и дефектной структуры в стали 45Г17ЮЗ [Текст] / С. В. Коновалов, Ю. Ф. Иванов, В. Е. Громов // Вестник ЮУрГУ, Серия «Математика. Механика. Физика». - 2010. - Вып. 2. №9(185). - С.67 - 75.
4. Коновалов, С. В. Эволюция дислокационной структуры при усталости коррозионно-стойкой стали с промежуточной электроимпульсной обработкой [Текст] / С. В. Коновалов, Ю. Ф. Иванов, В. Е. Громов // Деформация и разрушение материалов. - 2010. - № 4. - С. 7 - 11.
5. Коновалов, С. В. Формирование градиентной субструктуры в марганцовистой аустенитной стали при усталостном нагружении и электроимпульсной обработке [Текст] / С. В. Коновалов, Ю. Ф. Иванов, А. В. Громова // Физика и химия обработки материалов. - 2010. - №4. - С. 72 - 78.
6. Дударев, Е. Ф. Влияние энергии дефекта упаковки на развитие дислокационной субструктуры, деформационное упрочнение и пластичность ГЦК твердых растворов [Текст] / Е. Ф. Дударев, Л. А. Корниенко, Г. П. Бакач // Изв. вузов. Физика. - 1991. -№3. - С. 35 - 46.
7. Литвинова, Е. И. Двойникование в монокристаллах стали Гадфильда [Текст] / Е. И. Литвинова, И. В. Киреева, Е. Г. Захарова [и др.] // Физическая мезог^еханика. - 1999. - Т.2. №1-2. - С. 115 - 121.