

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт *физики высоких технологий*

Направление подготовки *Материаловедение и технологии материалов*

Кафедра *Материаловедение в машиностроении*

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Роль поверхностных слоев и границ зерен в ползучести алюминия
УДК 669.71: 669-492.3

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Б21	Борисюк Дарья Валерьевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ведущий научный сотрудник	Елсукова Тамара Филипповна	Д. ф.-м. н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры менеджмента	Грахова Елена Александровна			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Назаренко Ольга Брониславовна	Д.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Материаловедение в машиностроении	Панин В.Е.	Д. ф.-м.н., акад. РАН		

Планируемые результаты обучения по ООП 22.03.01 Материаловедение и технологии материалов (бакалавриат)

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
P1	Применять основные положения и методы гуманитарных наук при решении социально-общественных и профессиональных задач в области материаловедения и технологии материалов
P2	Использовать современное информационное пространство при решении профессиональных задач в области материаловедения и технологии материалов
P3	Разрабатывать, оформлять и использовать техническую документацию, включая нормативные документы по вопросам интеллектуальной собственности в области материаловедения и технологии материалов
P4	Проводить элементарный экономический анализ ресурсов, технологий и производств при решении профессиональных задач в области материаловедения и технологии материалов
P5	Эффективно работать в коллективе на основе принципов толерантности, использовать устную и письменную коммуникации на родном и иностранном языках в мультикультурной среде
P6	Эффективно выполнять трудовые функции по реализации высокотехнологичных производств материалов и изделий
P7	Проводить комплексную диагностику материалов, процессов и изделий с использованием технических средств измерений, испытательного и производственного оборудования
P8	Готовность к мотивированному саморазвитию, самоорганизации и обучению для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности в области материаловедения и технологии материалов
P9	Успешно использовать методы и приемы организации труда, обеспечивающие эффективное, экологически, социально и технически безопасное производство
P10	Использовать принципы производственного менеджмента и управления персоналом в производственной деятельности в области материаловедения и технологии материалов

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт *физики высоких технологий*

Направление подготовки

Материаловедение и технологии материалов

Кафедра

Материаловедение в машиностроении

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

_____ Панин В. Е.

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
4Б21	Борисюк Д. В.

Тема работы:

Роль поверхностных слоев и границ зерен в ползучести алюминия

Утверждена приказом директора ИФВТ

Приказ № 3138/с 22.04.2016

Срок сдачи студентом выполненной работы:

21.06.2016

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Объектом исследования являются плоские образцы высокочистого алюминия в форме двойной лопатки. Испытания на ползучесть проводили в условиях растягивающей нагрузки при температуре 50°C и различных напряжениях (0,9÷1,3 кгс/мм ²). Цель работы – исследование функциональной роли планарной подсистемы в рамках многоуровневого описания пластической деформации поликристаллов при ползучести, когда учитывается самосогласование 2D-планарной и 3D-кристаллической подсистем.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Литературный обзор Материалы и методы исследования Результаты исследования и их обсуждение Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение Социальная ответственность
Перечень графического материала	1. Роль поверхностных слоев и границ зерен в ползучести алюминия

	2. Цель работы 3. Материал исследования 4. Методы исследования 5. Кривые ползучести для алюминия 6. I стадия ползучести Al A999, $\sigma = 1,1 \text{ кгс/мм}^2$, $\sigma = 1,3 \text{ кгс/мм}^2$ 7. I стадия ползучести Al A999, $\sigma = 1,1 \text{ кгс/мм}^2$, $\sigma = 0,9 \text{ кгс/мм}^2$ 8. II стадия ползучести Al A999, $\sigma = 1,1 \text{ кгс/мм}^2$, $\sigma = 0,9 \text{ кгс/мм}^2$ 9. II стадия ползучести Al A999, интрузия приграничной зоны 10. II стадия ползучести Al A999, полосы сдвига на границе зерен 11. II стадия ползучести Al A999, полосы сдвига на поверхности зерна 12. II стадия ползучести Al A999, зона стыка трех зерен 13. II стадия ползучести Al A999, грубые полосы сдвига на поверхности зерен 14. III стадия ползучести Al A999, фрагментация приграничной зоны 15. III стадия ползучести Al A999, расслаивание приграничной зоны 16. Зависимости ЗГС и миграции границ зерен от времени испытания 16. Заключение 17. Спасибо за внимание
--	---

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Литературный обзор	Т.Ф. Елсукова, Ю. Ф. Попкова
Материал и методы исследования	Т.Ф. Елсукова, Ю. Ф. Попкова
Результаты исследования	Т.Ф. Елсукова, Ю. Ф. Попкова
Финансовый менеджмент	Е. А. Грахова
Социальная ответственность	О. Б. Назаренко

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	8.02.2016
--	-----------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ведущий научный сотрудник	Елсукова Т. Ф.	Д. ф.-м. н.		8.02.2016

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Б21	Борисюк Д. В.		8.02.2016

Реферат

Выпускная квалификационная работа 80 с., 23 рис., 18 табл., 31 источник литературы.

Ключевые слова: физическая мезомеханика, многоуровневый подход, ползучесть, высокочистый алюминий, пластическая деформация, поверхностные слои, границы зерен, зернограничное скольжение, миграция границ, аккомодационные механизмы поворотного типа.

Цель работы: исследование функциональной роли планарной подсистемы в рамках многоуровневого описания пластической деформации поликристаллов при ползучести, когда учитывается самосогласование 2D-планарной и 3D-кристаллической подсистем.

Испытания на ползучесть проводили в условиях растягивающей нагрузки при температуре 50°С и различных напряжениях (0,9÷1,3 кгс/мм²). В качестве материала исследования использовали поликристаллы высокочистого алюминия.

В процессе исследования изучали картину структурных изменений методами оптической и интерференционной микроскопии. Для изучения картины деформации на мезомасштабном уровне большого участка поверхности образца использовали метод фотомонтажей.

В результате исследования проведен эксперимент по выявлению роли планарной подсистемы в развитии пластической деформации при ползучести поликристаллов на примере алюминия.

Дипломная работа размещена в электронно – библиотечной системе ТПУ.

Abstract

Final qualification work 80 pages, 23 figures, 18 tables, 31 literature sources.

Key words: physical mesomechanics, multilevel approach, creep, high-purity aluminum, plastic deformation, surface layers, the grain boundaries, grain boundary sliding, border migration, accommodative mechanisms rotary type.

The purpose of this work: a study of the functional role of the planar subsystem within a multi-level description of the plastic deformation of polycrystals at creep when considered self-consistency 2D – planar and 3D – crystal subsystems.

Creep tests were carried out under conditions of a tensile load at 50°C and different voltages ($0,9 \div 1,3 \text{ kgs} / \text{mm}^2$). As material of research used polycrystals of high-pure aluminum.

During research investigated the pattern of structural changes in the methods of optical and interference microscopy. To study the pattern of deformation at the mesoscale level, a large area the sample surface using the method of photo montages.

A result of research conducted an experiment to identify the role of planar subsystems in the development of plastic deformation at creep of polycrystalline materials on the example of aluminium.

Оглавление

Введение.....	9
1. Литературный обзор	11
1.1 Пластическая деформация поликристаллов в условиях ползучести.....	11
1.2 Явление ползучести.....	12
1.3 Классическое изучение явления ползучести. Скольжение.....	13
1.4 Явления, связанные с границами зерен.....	15
1.5 Механизмы ползучести на микромасштабном уровне в рамках теории дислокации.....	18
1.6 Пластическая деформация в представлениях физической мезомеханики.....	20
2. Материалы и методы исследования.....	25
2.1 Материалы исследования.....	25
2.2 Методы исследования.....	25
3. Результаты исследования.....	28
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	47
4.1 Технико-экономическое обоснование научно-исследовательской работы.....	47
4.1.1 Потенциальные потребители результатов.....	47
4.1.2 SWOT-анализ НИР.....	48
4.1.3 Планирование работ по научно-техническому исследованию.....	49
4.1.4 Определение трудоемкости работ.....	50
4.2 Бюджет научно-технического исследования.....	55
4.2.1 Расчет материальных затрат.....	55
4.2.2 Расчет основной и дополнительной заработной платы....	55
4.2.3 Отчисления во внебюджетные фонды.....	56
4.2.4 Затраты на электроэнергию.....	56

4.2.5 Накладные расходы.....	57
4.3 Оценка научно-технического уровня НИР.....	59
5. Социальная ответственность.....	64
Введение.....	64
5.1 Профессиональная социальная безопасность.....	65
5.1.1 Идентификация опасных и вредных факторов проектируемой производственной среды.....	65
5.1.2 Анализ вредных производственных факторов.....	65
5.1.3 Анализ опасных производственных факторов.....	68
5.2 Экологическая безопасность.....	71
5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	72
5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	75
Заключение.....	76
Список публикаций.....	77
Список используемых источников.....	78

Введение

Ползучесть металлов является одним из наиболее важных процессов, развивающихся в нагруженных материалах при постоянной нагрузке, даже если она не превышает предела текучести материала. Необходимость и актуальность изучения этого явления диктуется, как требованиями практики, так и научной важностью проблемы. С одной стороны, этот вид деформации проявляется при работе большинства элементов и конструкций и определяет важнейшие характеристики материалов, с другой – это один из наиболее интересных с физической точки зрения процессов, протекающих в кристаллах в сложных условиях действия нагрузки и температуры. Традиционно механизмы ползучести поликристаллов рассматриваются с использованием моделей теории дислокаций [1-4]. Большое количество теорий и моделей ползучести, известных в литературе, является следствием сложности этого процесса, контролируемого одновременно несколькими внешними (напряжение σ , температура T) и внутренними (модуль упругости, энергия дефекта упаковки и т.п.) параметрами. Все они в общем случае отражают попытку увязать действие указанных параметров в рамках микромасштабного уровня деформации.

В настоящей работе анализ закономерностей ползучести поликристаллов проводится на основе представлений физической мезомеханики, в основу которой положена концепция структурных уровней деформации [5, 6]. В соответствии с этой концепцией деформируемое твердое тело рассматривается как многоуровневая система, в которой пластическое течение развивается самосогласованно как последовательная эволюция потери сдвиговой устойчивости на различных масштабных уровнях (микро, мезо и макро). На мезоуровне элементарными носителями деформации являются трехмерные структурные элементы. Их движение характеризуется схемой «сдвиг + поворот». Закономерности пластического течения на мезоуровне связывают с образованием диссипативных мезоструктур и фрагментацией деформируемого твердого тела. А завершающей стадией фрагментации является разрушение, когда на макроуровне образуются два фрагмента.

В физической мезомеханике очень важным является положение о том, что твердое тело необходимо рассматривать состоящим из двух самостоятельных подсистем: 3D-кристаллической и 2D-планарной (поверхностные слои и все границы раздела). Планарная подсистема не имеет трансляционной инвариантности, с ней связаны первичные пластические сдвиги и генерация всех деформационных дефектов [7].

В этой связи цель настоящей работы: исследование функциональной роли планарной подсистемы в рамках многоуровневого описания пластической деформации поликристаллов при ползучести, когда учитывается самосогласование 2D-планарной и 3D-кристаллической подсистем.

1 Литературный обзор

1.1 Пластическая деформация поликристаллов в условиях ползучести

Известно, что пластическая деформация как в целом по образцу, так и в пределах каждого зерна проходит весьма неравномерно и сопровождается возникновением различных нарушений в правильности строения материала. Внешним проявлением неравномерности распределения деформации в металле служит возникновение полос скольжения, двойников, смещения зерен и поворотов отдельных участков их решетки.

В наиболее чистом виде исследование механизма сдвиговой деформации удастся проводить на монокристаллах. В случае поликристаллов механизм деформации значительно сложнее. Усложнения вносятся наличием границ зерен, как непосредственно дающих вклад в деформацию образца в целом, так и существенно меняющих характер скольжения в зерне. Свойства граничного слоя отличаются от свойств самого зерна. С изменением условий деформации свойства зерна и его границ меняются неодинаково, так что влияние границ зерен с изменением условий деформации меняется.

Многочисленными работами на чистых металлах показано, что все многообразие элементарных процессов, приводящих к пластической деформации, можно свести к двум группам. К первой относятся процессы скольжения, связанные с кооперативным движением атомов в определенных кристаллографических плоскостях и направлениях. Ко второй – процессы вязкого течения, которые осуществляются путем термически активируемого направленного перемещения отдельных атомов под влиянием внешнеприложенного поля напряжений.

Сдвиговой механизм деформации преобладает при невысоких температурах и больших скоростях испытания, диффузионный – при высоких температурах и малых скоростях деформирования.

Изучение механизма деформации металлов и сплавов является одним из путей выяснения причин их упрочнения и, следовательно, разработки научно обоснованных принципов создания материалов с оптимальными свойствами.

1.2 Явление ползучести

Ползучесть – пластическое течение материала под воздействием постоянного напряжения или постоянной нагрузки.

При относительно низких температурах трудно выявить протекание процесса ползучести или временную зависимость прочности. Это связано с тем, что при низких температурах скорость ползучести и время до разрушения так существенно зависят от напряжений, что небольшое изменение величины последних, часто не превышающее погрешностей в учете величины напряжений при испытаниях подобного рода, приводит к изменению величины скорости ползучести и времени до разрушения на несколько порядков.

Различают следующие стадии деформации при ползучести: мгновенная деформация, стадия неустановившейся ползучести (I), стадия установившейся ползучести (II), стадия ускорения ползучести (III), которая оканчивается разрушением (рисунок 1). На первой стадии скорость деформации непрерывно понижается, а на второй – деформация идет с постоянной скоростью. Общее время от начала нагружения до разрушения – время до разрушения. Напряжение, при котором разрушение происходит за некоторый заранее установленный интервал, часто называют длительной прочностью [1].

Характер кривых ползучести существенно зависит от величины нагрузки, температуры испытания и природы материала. Главным образом влияют структурные превращения в материале, происходящие в ходе нагружения. «Мгновенная деформация» происходит при приложении нагрузки. Она не является следствием ползучести и подчиняется зависимостям от температуры и напряжений, как деформация при непрерывно возрастающей нагрузке.

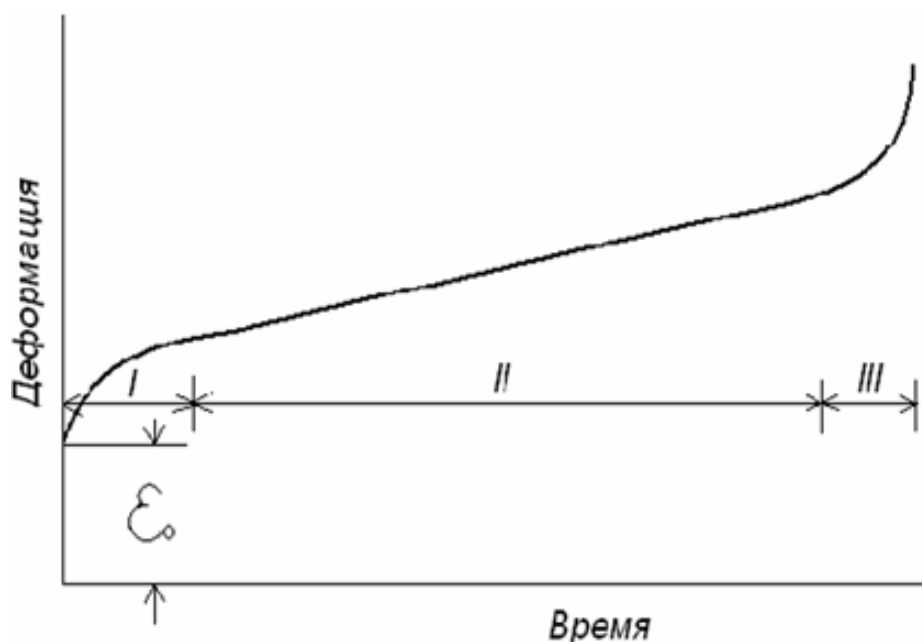


Рисунок 1 – Кривая ползучести: ϵ_0 – мгновенная деформация; I, II, III – участки, соответствующие различным стадиям ползучести

Ползучесть может быть результатом большого числа процессов, происходящих в материале вследствие одновременного воздействия приложенных напряжений и температуры, то становится очевидным, что для ответа на вопрос о причинах ползучести и путях, которыми осуществляется ползучесть данного материала, необходимо непосредственное изучение изменений структуры, сопровождающих ползучесть. Сведения об элементарных процессах, приводящих к деформации, позволяют также указать основные физические факторы, определяющие повышенное сопротивление материалов ползучести.

1.3 Классическое изучение явления ползучести. Скольжение

Следы скольжения, возникающие при пластической деформации металлических материалов, изучались во многих исследованиях. При изучении скольжения поликристаллических металлов в условиях высоких температур и пониженных скоростей деформации наблюдается многообразие проявлений скольжения и неравномерность скольжения от зерна к зерну. Следы скольжения, в зависимости от ориентировки зерна относительно направления

деформирующих сил могут соответствовать одной, двум или большему числу семейств плоскостей скольжения. В металлах, имеющих г. ц. к. решетку, прямолинейные следы скольжения могут соединяться видимыми следами поперечного скольжения. Часто следы скольжения не прямолинейны, а имеют волнистый характер. Во многих исследованиях отмечается тенденция к более частому образованию волнистых следов скольжения при повышении температуры.

Кроме следов скольжения, несомненно, связанных с определенными кристаллографическими плоскостями и направлениями, в ряде случаев наблюдаются складки у мест стыка границ трех зерен и так называемые полосы деформации [1]. Указанные следы деформации образуются легче и в большем количестве при повышении температуры и понижении скорости деформирования.

Неоднородность деформации при ползучести проявляется как в неодинаковой деформации отдельных зерен, так и в неодинаковой деформации разных участков одного и того же зерна [2]. Неоднородность деформации поликристаллического материала при любых температурах связана с неравномерностью величины и направления напряжений в разных зернах, что в свою очередь связано с различной их ориентировкой относительно внешней силы. Механические ограничения, которые накладывают менее деформированные зерна на своих соседей, претерпевающих большую деформацию, преодолеваются в результате локализации деформации у границ. Последняя осуществляется включением новых систем скольжения, дополнительных к основной, действующей по объему всего зерна. Известно, что скольжение в приграничных участках всегда усложнено: если вдали от границ наблюдалось скольжение по одной системе скольжения, то вблизи к границам – по двум или трем.

1.4 Явления, связанные с границами зерен

Известно, что с повышением температуры развивается локализация деформации у границ зерен и изменение характера разрушения, которое становится межзеренным [8, 9 и др.]. Уже в первых металлографических исследованиях пластической деформации при высоких температурах была выдвинута гипотеза об аморфности границ [10]. При этом механизм деформации связывался с вязким течением по границам зерен т. е. принималось, что релаксация напряжений состоит в простом сдвиге вдоль границ зерен и что границы зерен при высоких температурах ведут себя как вязкие тела. Представление о вязком течении по границам позволило объяснить ряд наблюдаемых факторов и в частности, упрочняющее влияние измельчения зерен при низких температурах и разупрочняющее – при высоких.

Однако позднее был получен ряд новых экспериментальных результатов. Беттеридж [11] на основании проведенных им экспериментов пришел к выводу, что определяющим фактором в процессе ползучести при очень низких напряжениях является не вязкое поведение границ зерен, а процесс перемещения дислокаций внутри зерен. В работах Розенберга В. М. с сотрудниками [1] показано, что понижение скорости ползучести с увеличением размеров зерен имеет место лишь до определенного размера зерен, а при дальнейшем их увеличении скорость ползучести начинает возрастать. При этом характер разрушения остается межзеренным.

Перечисленные экспериментальные факты хотя и не исключают принципиальной возможности вязкого поведения границ зерен при высокотемпературном деформировании, тем не менее, указывают на тесную связь внутризеренных процессов и явлений, связанных с границами зерен.

Также в [12] межзеренные границы выделяются не только как фактор, связанный с размерами зерен и их разориентацией, но и как особый структурный элемент. Проводилось изучение структуры границ зерен и ее перестроек вследствие внешних воздействий и взаимодействия с дефектами решетки. Характер этих перестроек существенным образом зависит от

температурных условий испытаний: при низких температурах решеточные дислокации остаются стабильными в границах зерен; при высоких – они поглощаются зернограницной структурой. Границы также являются стоками для вакансий и непосредственно могут участвовать в деформации вследствие развития межзеренного скольжения.

С повышением температуры упрочняющая роль границ зерен ослабевает [10], так как в этих условиях становится возможным скольжение по границам зерен, их миграция и взаимный поворот. Это приводит к снижению внутризеренных напряжений и вносит дополнительный вклад в общую деформацию.

Под зернограничным скольжением (ЗГС) обычно понимают смещение одного зерна относительно другого вдоль общей поверхности границы. ЗГС для поликристаллов является специфическим механизмом деформации и играет большую роль в обеспечении их механических свойств. Его проявление характерно для высокотемпературной деформации, но известны наблюдения смещений по границам и при низких температурах [12].

Экспериментальному исследованию зернограничного скольжения посвящено довольно много работ. В экспериментах наблюдали весьма разнообразные проявления скольжения в зависимости от условий нагружения, наличия примесей, топографии границ зерен и кристаллогеометрии. Обычно считали, что снижение сопротивления границ сдвигу с повышением температуры, скольжение вдоль границ (и снятие в связи с этим внутризеренных напряжений) происходит за счет вязкого течения по границам зерен [13].

Качественно новый этап в исследовании физической природы ЗГС связан с развитием современных представлений о структуре границ зерен, ее перестройках при взаимодействии с дефектами решетки [12]. Кроме того, проведение экспериментов на тщательно аттестованных границах позволило выявить несколько разновидностей ЗГС и их классифицировать. Это относится, прежде всего, к исследованиям бикристаллов. Более сложной задачей является

установление основных факторов, определяющих развитие ЗГС в поликристаллах. Дело в том, что здесь играют роль не только механизм собственного зернограницного скольжения, но и аккомодационные процессы, требующие согласования деформации зерен в поликристалле.

На самых разных материалах было установлено [1, 14], что для данного образца форма зависимости средней величины ЗГС от времени, как правило, идентична форме кривой ползучести. Однако если измерить не среднюю величину ЗГС, а непрерывно наблюдать за его изменением в некотором фиксированном месте границы зерна, то оказывается, что, как и в случае бикристаллов, изменение ЗГС с течением времени происходит циклически. В то же время многочисленные данные измерения вклада ЗГС в общую деформацию показали, что эта величина очень сильно зависит от условий испытания, исходной структуры и ее изменений в процессе деформации, а также от напряжения [1, 14].

Кроме проскальзывания по границам зерен существенную роль в процессе ползучести играет миграция границ, которая обычно снижает деформационное упрочнение в зерне, приводит к возврату и уменьшению прочности. Миграция границ зерен – перемещение границы всем фронтом по нормали к ее поверхности.

Для выяснения механизма миграции особое значение имеют данные, полученные при помощи методик, где исследование скорости миграции проводили на надежно аттестованных индивидуальных границах при контролируемой или постоянной движущей силой процесса миграции, а положение границы непрерывно фиксировалось без ее принудительной остановки. Созданные экспериментальные методики [15] и выполненные на их основе исследования, позволили установить наиболее важные закономерности влияния на движение границы «внутренних» – тип границы, ее кристаллографические характеристики и «внешних» параметров – природы и концентрации примесей, температуры, вида движущей силы.

В реальных металлах миграция границ зерен обычно происходит в условиях их взаимодействия с дефектами решетки: вакансиями, дислокациями, примесями. В [1] было показано, что величина миграции не зависит от угла между границей и осью образца. Отсюда следует, что миграция не дает существенного вклада в общую деформацию.

1.5 Механизмы ползучести на микромасштабном уровне в рамках теории дислокации

Выделяют основные закономерности эволюции дислокационной структуры при ползучести и ее связи с температурно-силовыми условиями деформации материалов. Выявленные дислокационные структуры и их основные элементы, характерные для каждой стадии деформации, для всех кристаллов идентичны в области умеренных температур независимо от температурно-силовых условий деформации и исходной структуры. Идентична и эволюция дислокационной структуры в ходе ползучести.

При нагружении в кристаллах рождаются многочисленные дислокации. Они скользят, приводя к быстрой деформации. Постепенно становятся активны все новые плоскости скольжения, и плотность дислокаций возрастает. Это приводит к их взаимодействию. Формируются сплетения дислокаций и дислокационные диполи, которые являются серьезными препятствиями для подвижных дислокаций. Взаимодействуя с ними, дислокации замедляют свое движение, и скорость деформации снижается. Постепенно концентрация сплетений и их размеры растут. Они соединяются и образуют элементы ячеистой структуры. Следствием этого является дальнейшее снижение деформации. С ростом плотности дислокаций в границах ячеек их доля в структуре кристаллов возрастает и постепенно структура становится ячеистой.

На неустановившейся стадии в кристаллах происходит перераспределение дислокаций в ячейках, рассасывание их сплетений и образование блоков, которые растут с деформацией. К концу этой стадии эти процессы, в основном, завершаются.

По данным [16] стационарная установившаяся ползучесть протекает при блочной структуре. Блоки имеют четкие границы. Плотность дислокаций в них гораздо больше плотности дислокаций в объеме блоков. В ходе стационарной ползучести эта структура сохраняется, но повсеместно образуются новые и разрушаются имеющиеся границы блоков, причем последнее преобладает. Дислокации, выходя из разрушающихся границ, сравнительно легко движутся в блоках и обуславливают деформацию ползучести. Часть границ исчезает. Как следствие, блоки растут в ходе стационарной ползучести.

Характеристики блочной структуры ведут себя различно при сменах температурно-силовых условий стационарной ползучести: размеры блоков меняются в широких пределах, плотность же дислокаций в границах у большинства кристаллов сохраняется постоянной. Эта плотность при стационарной ползучести кристаллов определяется их исходным состоянием.

Стационарная ползучесть не только не связана с дислокациями, расположенными в объемах блоков, но и не контролируется движением дислокаций в объеме блоков, как это принято считать для блочных кристаллов. Оказывается, стационарную ползучесть обеспечивает движение дислокаций из межблочных границ через блоки и преодоление этими дислокациями барьеров в границах контролирует скорость процесса.

О наступлении третьей стадии ползучести свидетельствует отклонение (вверх) кривой ползучести от линейной второй стадии. Частично переход к III стадии объясняется возрастанием напряжения вследствие уменьшения поперечного сечения образца в области шейки. Однако это отклонение от прямолинейности сохраняется и тогда, когда появление шейки устраняется в условиях низких напряжений и высоких температур. В обоих случаях ускорение ползучести является, прежде всего, следствием развития межзеренных пустот и трещин, которое приводит, в конце концов, к межзеренному разрушению. Тем не менее, имеются свидетельства того, что межзеренные трещины могут появляться до начала третьей стадии ползучести, к концу второй стадии они уже достаточно хорошо развиты. В этом отношении

поведение металла или сплава очень чувствительно к температуре и скорости деформации. В общем случае, чем выше температура и скорость деформации, тем раньше начинают образовываться пустоты и трещины.

Пластическое течение вакансионного типа контролируется объемной диффузией («ползучесть по Набарро – Херрингу»), либо зернограницной диффузией («ползучесть по Коблу»). В этих случаях следует учитывать переползание дислокаций, и, как следствие, сохранение основного механизма пластического течения. Такие механизмы могут действовать в сочетании, образуя сложные комбинации. В результате может реализовываться ряд других механизмов (таких, например, как сверхпластическое течение). Возможны также ротационные механизмы деформации [17].

1.6 Пластическая деформация в представлениях физической мезомеханики

В основе физической мезомеханики лежит концепция о том, что деформируемое твердое тело является многоуровневой, иерархически организованной системой, в которой пластическое течение самосогласованно развивается как последовательная эволюция потери сдвиговой устойчивости на различных масштабных уровнях: микро-, мезо- и макро-. В этой концепции на основе изучения элементарных актов пластической деформации ставится задача вскрыть механизмы зарождения пластических сдвигов и трещин, дать объяснение поведения дислокационных ансамблей и интерпретировать феноменологические закономерности механики сплошной среды [18].

Эта наука возникла на стыке механики сплошной среды, теории дислокаций и физического материаловедения. Ее основная задача – количественно связать движение дислокаций на микромасштабном уровне с механическими характеристиками на макромасштабном уровне, учитывая состав материала, его внутреннюю структуру и условия нагружения.

В основе физической мезомеханики материалов лежит концепция структурных уровней деформации твердых тел. Было обосновано, что

рассматриваемый на микроуровне сдвиг как элементарный акт пластического течения на самом деле сопровождается поворотными модами деформации на более высоком – мезоскопическом масштабном уровне. Поворотные механизмы вовлекают в самосогласованную деформацию все структурные уровни нагруженной среды. Деформируемое твердое тело является, таким образом, многоуровневой, нелинейной, иерархически самоорганизующейся системой, в которой структурные уровни (микро-, мезо- и макро-) органические взаимосвязаны. На мезоуровне носителями пластического течения являются трехмерные структурные элементы (мезообъемы), характер которых зависит от природы материала, его внутренней структуры и условий нагружения [19].

Природа наделила кристаллы огромными силами связи, однако у кристаллов оказалась одна очень большая слабость. В локальных зонах концентраторов напряжений они теряют свою сдвиговую устойчивость, перестраиваясь в другую структуру. При этом силы связи не разрываются. Требуется лишь незначительная энергия, чтобы локально переместить атомы из одних позиций в другие. Однако этого оказывается достаточно и в кристалле происходит локальный кристаллографический сдвиг. Такие локальные пластические сдвиги развиваются сугубо очагово. Но их самоорганизация ведет к пластическому течению всего кристалла.

Нагрузить однородно любое твердое тело и тем более конструкцию невозможно. При нагружении структурно неоднородного материала выше предела текучести возникают многочисленные концентраторы напряжений критической величины, в зоне которых локальная сдвиговая устойчивость исходной кристаллической решетки теряется. В этих локальных зонах кристалла рождаются фрагменты другой структуры (рисунок 2, а).

Концентратор напряжений релаксирует, после чего распределение напряжений в кристалле становится более однородным. Естественно, что такой механизм обеспечивает очень высокую подвижность дислокаций в кристаллической решетке (рисунок 2, б).

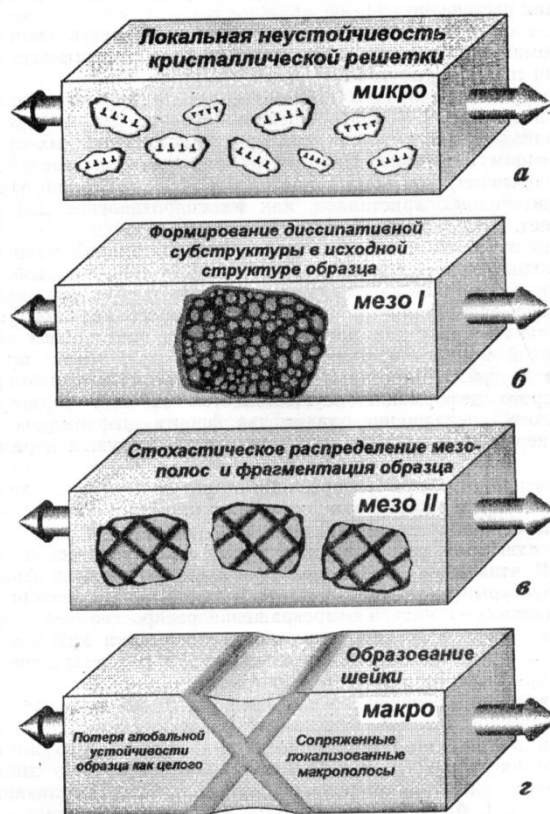


Рисунок 2 – Масштабные уровни потери сдвиговой устойчивости в деформируемом твердом теле (схема): а) микро, б) мезо I, в) мезо II, г) макро

На мезоконцентраторах напряжений зарождаются потоки деформационных дефектов, которые движутся в направлении максимальных касательных напряжений независимо от кристаллографической ориентации решетки (рисунок 2, в). Это уже не дислокации, а плоские мезодефекты. Наиболее распространенными из них являются полосы деформации. Кристаллическая структура исходного материала начинает фрагментироваться. Но на этом этапе материал перед мезополосой сохраняет еще высокую прочность. Рождаются мощные встречные напряжения, которые приводят к торможению движения потока дефектов. Однако первоначально сплошной кристаллический материал оказывается разбитым на фрагменты. Границы между фрагментами являются дефектным материалом. По таким границам легко распространяется трещина. Поэтому второй этап нагружения – это уже стадия предразрушения.

Наконец, в деформируемом образце возникает макроконцентратор напряжений. Под его действием происходит глобальная потеря сдвиговой устойчивости во всем поперечном сечении нагруженного образца. Пластическая деформация локализуется в одном сечении образца в виде одной или двух сопряженных макрополос деформации (рисунок 2, г). Внутри макрополос и в окружающем материале развивается фрагментация материала, определяющая стадию его предразрушения, вызывая в нем сильный локальный материальный поворот. Разрушение образца является разрушающей стадией его фрагментации. Глобальная потеря сдвиговой устойчивости во всем сечении образца обуславливает выход деформации на макроуровень. Образец разделяется на две части [20].

В ходе пластического течения нагруженного твердого тела прослеживаются три этапа: микро, мезо, макро. Каждому этапу соответствует и свой масштабный уровень концентраторов напряжений: микроконцентраторы (дислокации), мезоконцентраторы (мезополосы деформации), макроконцентраторы (локализованный сдвиг и трещина).

Самым опасным в нагруженном материале являются макроконцентраторы напряжений. Они вызывают глобальную потерю сдвиговой устойчивости во всем сечении образца, что сопровождается распространением трещины и разрушением материала.

Промежуточное положение между микро- и макроконцентраторами напряжений занимают мезоконцентраторы напряжений. Они обуславливают локальную потерю сдвиговой устойчивости в протяженных областях нагруженного материала. Релаксация мезоконцентраторов напряжений происходит путем некристаллографического распространения потоков деформационных дефектов в направлении максимальных касательных напряжений. Их взаимное пересечение приводит к фрагментации материала как целого. Развитие этих процессов является стадией предразрушения материала или конструкции.

Таким образом, в основе описания пластической деформации и разрушения твердых тел в физической мезомеханике лежит принципиально новая методология самосогласования процессов потери сдвиговой устойчивости в деформируемом твердом теле как сложной иерархической системе [19, 20].

2 Материалы и методы исследования

2.1 Материалы исследования

В настоящей работе в качестве материалов исследования использовали поликристаллический высокочистый алюминий, имеющий ГЦК решетку. Он обладает высокой сдвиговой устойчивостью внутренней структуры, которую характеризуют величины модуля сдвига G и энергии дефекта упаковки γ .

Модуль сдвига – характеристика сдвига параллельных кристаллографических плоскостей тела, определяет способность тел сопротивляться изменению формы при сохранении их объема.

Энергия дефекта упаковки является физическим параметром и в значительной степени определяет строение ядра дислокации, возможность ее диссоциации на частичные дислокации, подвижность последних и т. д. Высокая энергия дефектов упаковки подразумевает формирование зоны скопления дислокаций переходного слоя, приводящего к возникновению сильных сжимающих напряжений, которые препятствуют дальнейшему развитию микротрещин, что повышает общую сопротивляемость материала разрушению.

Алюминий имеет высокие значения G и γ . Значения приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Марка и параметры исследованных материалов

Марка металла	$T_{\text{исп}}/T_{\text{пл}}$	G , ГПа	γ , мДж/м ²	d , мкм	σ_T , МПа	σ_B , МПа
Al A999	0.3	24.5	250	500	14.2	40

$T_{\text{исп}}/T_{\text{пл}}$ – гомологическая температура испытания; G – модуль сдвига; γ – энергия дефекта упаковки; d – средний размер зерна; σ_T – предел текучести, справочные данные; σ_B – предел прочности, справочные данные.

2.2 Методы исследования

Экспериментальные плоские образцы в виде двойной лопатки (рисунок 3) с размером рабочей части $37 \times 8 \times 1$ мм³ готовили прокаткой и штамповкой. Для снятия наклепа, полученного при изготовлении, их отжигали при

температуре 240°C 30 мин. Поверхность образцов для структурных исследований готовили методом электролитической полировки.

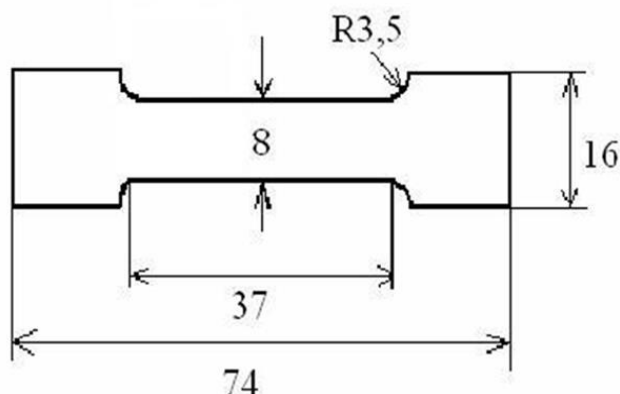


Рисунок 3 – Исследуемый образец

Перед испытанием на полированную поверхность образцов наносили реперную (координатную) сетку. Это позволяет исследовать распределение деформации в целом по образцу и в отдельных зернах, анализировать развитие сдвиговых и поворотных составляющих деформации, а также проводить количественную оценку различных составляющих деформации. Метод реперных сеток является весьма эффективным для выявления зон, в которых развивается зернограничное скольжение в плоскости поверхностного слоя образца (ЗГС_П).

Испытания на ползучесть проводили на установке Лаврова С.С. в условиях растягивающей нагрузки при температуре 50°C и различных напряжениях (0,9÷1,3 кгс/мм²). Удлинение образцов измеряли индикаторами часового типа с точностью ±1 мкм.

Структурные изменения в поверхностных слоях на разных стадиях ползучести изучали методом оптической микроскопии с использованием микроскопа Neophot-21 (рисунок 4, а). Для трехмерного анализа геометрической структуры поверхности и исследования зон ЗГС, нормальных к поверхности образца (ЗГС_⊥) использовали сканирующий интерферометр New View 6200 (рисунок 4,б).



Рисунок 4 – Металлографический микроскоп Neophot-21 (а), сканирующий интерференционный микроскоп New View 6200 (б)

Для изучения кинетики самосогласованного взаимодействия деформирующихся зерен на большом участке образца применяли метод фотомонтажей поверхностного слоя.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
4Б21	Борисюк Дарья Валерьевна

Институт	ИФВТ	Кафедра	ММС
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/ специальность	Материаловедение и технологии материалов

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	МТБ для проведения исследования является лаборатория ФМ и НМК ИФПМ СО РАН. Человеческие ресурсы НИР: сотрудники лаборатории (2 чел.)
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	В соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность»
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления по страховым взносам – 30% от ФОТ

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	- Техничко-экономическое обоснование научно-исследовательской работы, - Определение потенциальных потребителей результатов исследования - Swot-анализ НТИ
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	- Определение трудоемкости выполнения работ, разработка графика проведения НИ, - Формирование бюджета НТИ
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	- Оценка научно-технического уровня исследования

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Матрица SWOT
2. График проведения и бюджет НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры менеджмента	Грахова Е. А.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Б21	Борисюк Д. В.		

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

4.1 Технико-экономическое обоснование научно-исследовательской работы

В данной научно-исследовательской работе проводится исследование роли поверхностных слоев и границ зерен поликристалла алюминия при ползучести. Ползучесть металлов является одним из наиболее важных процессов, развивающихся в нагруженных материалах при постоянной нагрузке. Необходимость и актуальность изучения этого явления диктуется, как требованиями практики, так и научной важностью проблемы.

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности исследования, планирование процесса управления НИР, определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности.

Для достижения обозначенной цели необходимо решить следующие задачи:

- оценить коммерческий потенциал и перспективность разработки проекта;
- осуществить планирование этапов выполнения исследования;
- рассчитать бюджет проекта;
- оценить научно-технический уровень НИР.

4.1.1 Потенциальные потребители результатов

В качестве потенциальных потребителей результатов исследования могут выступать научно-исследовательские институты и лаборатории, работающие с таким материалом как алюминий, также машиностроительные и авиастроительные предприятия, использующие алюминиевые детали в своем производстве.

4.1.2 SWOT-анализ НИР

SWOT – анализ позволяет оценить факторы и явления способствующие или препятствующие достижению успеха научного исследования [22].

Сильные и слабые стороны исследования представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Матрица SWOT

	Сильные стороны	Слабые стороны
	С1. Проведение испытания не требует уникального и дорогостоящего оборудования. С2. Подготовка поверхности образцов к выполнению испытаний не несет вредных воздействий на окружающую среду. С3. Низкая стоимость материалов для выполнения исследования. С4. Наличие финансирования со стороны ИФПМ СО РАН.	Сл1. Отсутствие современного оборудования для проведения испытания. Сл2. Отсутствие компании, занимающейся проведениями конкретных исследований для нашего образца. Сл3. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой.
Возможности: В1. Использование оборудования ИФПМ СО РАН. В2. Повышение стоимости конкурентных разработок. В3. Приобретение оборудования у отечественных производителей. В4. Внедрение разработки на зарубежный рынок, из-за низкой себестоимости.	Возможность использования оборудования ИФПМ СО РАН позволяет соответствовать заявленной экономичности и энергоэффективности технологии, благодаря умениям квалифицированного персонала пользоваться данной возможностью. Быстрое внедрение на рынок так как наша технология не требует уникального и дорогостоящего оборудования, имеет более низкую стоимость материалов.	Использование оборудования ИФПМ СО РАН может стать не возможным из-за отсутствия квалифицированного персонала. Быстрому внедрению на рынок и использованию нашей технологии в больших масштабах может помешать: отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания.
Угрозы: У1. Снижение спроса на новые технологии производства. У2. Развитие технологий конкурентов. У3. Ограничения на экспорт технологии.	Угроза развитой конкуренции технологий производства может не так сильно отразиться на нашем проекте, благодаря тому, что наша технология не требует дорогостоящего оборудования, а также имеет низкую стоимость материалов	Все слабые стороны нашего проекта являются неблагоприятными, так как на рынке присутствует развитая конкуренция технологий производства.

У4. Несвоевременное финансовое обеспечение со стороны ИФПМ СО РАН.	для подготовки поверхности к проведению испытания по сравнению с другими технологиями.	
--	--	--

По полученным данным можно сделать вывод, что возможности совместно с сильными сторонами благоприятствуют достижению целей научно – исследовательской работы. Разрабатываемое нами исследование является перспективным и целесообразным с точки зрения ресурсоэффективности, доступность исходного сырья и экологичность процесса, также являются благоприятными факторами для внедрения на рынок результатов данного исследования.

4.1.3 Планирование работ по научно-техническому исследованию

Планирование исследования – это составление календарных планов выполнения комплексов работ, определение денежных средств, необходимых для их реализации, а так же трудовых и материальных ресурсов.

Трудоемкость выполнения оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов.

Перечень основных этапов работы приведен в таблице 5.

Работу выполняло 2 человека: руководитель, студент-дипломник.

Таблица 5 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	Номер работы	Содержание работы	Должность исполнителя
Утверждение технического задания	1	Составление и утверждение задания	Руководитель, студент-дипломник
Выбор направления исследования	2	Подбор и изучение литературных данных по теме	Студент-дипломник
	3	Выбор направления исследований	Студент-дипломник
	4	Выбор материала для исследования	Руководитель, студент-дипломник
	5	Выбор оборудования для исследования	Руководитель, студент-дипломник
Экспериментальные	6	Разработка этапов	Руководитель,

исследования		исследования	студент-дипломник
	7	Подготовка образцов для исследования	Студент-дипломник
	8	Проведение эксперимента	Студент-дипломник
	9	Анализ полученных результатов	Руководитель, студент-дипломник
Обобщение и оценка результатов	10	Сопоставление результатов эксперимента с теоретическими исследованиями	Руководитель, студент-дипломник
	11	Оценка эффективности полученных результатов	Студент-дипломник
Оформление отчета по НИР	12	Составление пояснительной записки, Сдача результатов НИР	Студент-дипломник

4.1.4 Определение трудоемкости работ

Расчет трудоемкости осуществляется опытно-статистическим методом [23], основанным на определении ожидаемого времени выполнения работ в человеко-днях по формуле [24]:

$$t_{ож\ i} = \frac{3*t_{min\ i} + 2*t_{max\ i}}{5},$$

где $t_{ож\ i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы, чел.-дн.; t_{mini} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.; $t_{max\ i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Тогда формула для вычисления ожидаемого времени выполнения первой работы будет иметь вид:

$$t_{ож\ 1} = \frac{3*2 + 2*3}{5} = 2$$

Рассчитаем значение ожидаемой трудоёмкости работы:

Для установления продолжительности работы в рабочих днях используем формулу [24]:

$$T_{p1} = \frac{t_{ож\ i}}{Ч_1},$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.; $t_{ож\ i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.; $Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Продолжительность первой работы в рабочих днях находим по формуле:

$$T_{p1} = \frac{t_{ож\ i}}{Ч_1} = \frac{2}{1} = 2$$

Для удобства построения календарного план-графика, длительность этапов в рабочих днях переводится в календарные дни и рассчитывается по следующей формуле:

$$T_{ki} = T_{pi} * k,$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения одной работы, календ. дн.; T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.; k – коэффициент календарности, предназначен для перевода рабочего времени в календарное. Коэффициент календарности рассчитывается по формуле:

$$k = \frac{T_{кг}}{T_{кг} - T_{вд} - T_{пд}}$$

где $T_{кг}$ – количество календарных дней в году; $T_{вд}$ – количество выходных дней в году; $T_{пд}$ – количество праздничных дней в году.

Определим длительность этапов в рабочих днях для первой работы и коэффициент календарности:

$$k = \frac{T_{кг}}{T_{кг} - T_{вд} - T_{пд}} = \frac{365}{365 - 104 - 10} = 1,45,$$

$$T_{k1} = T_{p1} * k = 2 * 1,45 = 3$$

Результаты сведем в таблицу 6.

Таблица 6 – Временные показатели проведения НИР

№ работы	Исполнители	Продолжительность работ						
		$t_{\min}$ чел.-дн.	$t_{\max}$ чел.-дн.	$t_{\text{ож}}$ чел.-дн.	T_p раб. дн.	T_k кал.дн.	$Y_i \%$	$\Gamma_i \%$
1	Руководитель, студент-дипломник	2	3	2	3	3	5	5,3
2	Студент-дипломник	2	15	12	12	20	21	26,7
3	Студент-дипломник	3	8	5	5	8	9	35,2
4	Руководитель, студент-дипломник	15	25	19	9	15	16	51,7
5	Руководитель, студент-дипломник	1	10	4	4	6	7	58,9
6	Руководитель, студент-дипломник	2	5	3	3	5	5	66
7	Студент-дипломник	3	7	4	4	6	7	73,2
8	Студент-дипломник	2	17	8	8	13	14	87,5
9	Руководитель, студент-дипломник	1	2	1	1	2	2	89,2
10	Руководитель, студент-дипломник	2	4	3	3	5	5	94,6
11	Студент-дипломник	1	3	1	1	2	2	96,4
12	Студент-дипломник	2	5	3	3	5	5	100
Итого						90		

В таблице 7 приведен календарный план разработки проект в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ [22].

Таблица 7 – Календарный план-график проведения работ НИР

Э т а п	Вид работы	Исполнители	T _к	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь
1	Составление и утверждение задания	Руководитель, студент-дипломник	3					
2	Подбор и изучение литературы по теме	Студент-дипломник	20					
3	Выбор направления исследования	Студент-дипломник	8					
4	Выбор материала для исследования	Руководитель, студент-дипломник	15					
5	Выбор оборудования для исследования	Руководитель, студент-дипломник	6					
6	Разработка моделей для исследования	Руководитель, студент-дипломник	5					
7	Поиск методов решения	Студент-дипломник	6					
8	Реализация моделей	Студент-дипломник	13					
9	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Руководитель, студент-дипломник	2					
10	Анализ полученных результатов	Руководитель, студент-дипломник	5					

4.2 Бюджет научно-технического исследования

4.2.1 Расчет материальных затрат

При выполнении планирования бюджета научного исследования должны быть отражены все виды планируемых расходов, необходимых для его выполнения [25]. Планируемые материальные затраты представлены в таблице (таблице 8).

Таблица 8 – Материальные затраты

Материал	Кол-во	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Электролит для полировки образцов	200 мл	2600	520
Фильтры технические	50 шт	2,9	175
Принадлежности канцелярии (бумага)	2 пачки	300	600
Принадлежности канцелярии (ручки)	5шт	50	250
Всего за материалы			1795
Транспортно-заготовительные расходы (5%)			90
Итого по данной статье			1885

4.2.2 Расчет основной и дополнительной заработной платы

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп},$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата; $Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

$$Z_{осн} = Z_{д} T_{раб},$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата одного работника; T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дней; $Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

$$Z_{осн} = 1296 * 30 = 41472 \text{ руб.}$$

$$Z_{осн} = 800 * 30 = 24000 \text{ руб.}$$

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнение темы:

$$З_{\text{доп.з/п}} = K_{\text{доп}} З_{\text{осн}},$$

где $З_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата, руб.; $K_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной зарплаты; $З_{\text{осн}}$ – основная заработная плата, руб.

$$З_{\text{доп.з/п}} = 0,12 \cdot 41472 = 4976 \text{ руб}$$

$$З_{\text{доп.з/п}} = 0,12 \cdot 24000 = 2880 \text{ руб}$$

В таблице 9 приведены значения основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 9 – Заработная плата исполнителей НТИ

Заработная плата	Научный руководитель	Студент-дипломник
Основная зарплата	41472	24000
Дополнительная зарплата	4976	2880
Зарплата исполнителя	46448	26880

4.2.3 Отчисления во внебюджетные фонды

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$C_{\text{внеб}} = K_{\text{внеб}} * (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}),$$

где $K_{\text{внеб}}$ - коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

$$C_{\text{внеб}} = 0,27 \cdot 46448 = 12541$$

$$C_{\text{внеб}} = 0,27 \cdot 26880 = 7258$$

4.2.4 Затраты на электроэнергию

Затраты на электроэнергию рассчитывают по следующей формуле:

$$З_{\text{эл}} = N \cdot t \cdot Ц$$

где N – мощность установки, кВт; t – время работы оборудования, ч; $Ц$ – цена за 1 кВт/ч ($Ц=2,7$ руб/кВт.ч).

Затраты на электроэнергию представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Затраты на электроэнергию

Оборудование	Мощность, КВт	Т, час.	Затраты, руб.
Установка на ползучесть Лаврова	0,15 (технические данные)	3840	3110,4
Компьютер	0,22 (технические данные)	216	128,3
Микроскоп Axiovert	0,22	115	68,3
Интерференционный профилометр New View	0,22	25	1,49

Итого 3308,49 рублей

4.2.5 Накладные расходы

Эта статья содержит затраты на управление и хозяйственное обслуживание. Также сюда относятся расходы по содержанию, использованию и ремонту оборудования, механизмов, производственного инструмента и инвентаря, зданий, помещений, сооружений и др.

Накладные расходы рассчитываются по следующей формуле:

$$C_{\text{накл.}} = k_{\text{накл.}} (\sum \text{статей}),$$

где $k_{\text{накл.}}$ – коэффициент накладных расходов, $k_{\text{накл.}} = 0,16\%$

$$C_{\text{накл.}} = 0,16 \% * 95011 = 15201 \text{ руб.}$$

Полный перечень затрат на проведение данной работы представлен в таблице 11.

Таблица 11. Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма	
	Руководитель	Студент-дипломник
Материальные затраты НТИ	1884	
Затраты по основной заработной плате	41472	24000

Затраты по дополнительной заработной плате	4976	2880
Затраты во внебюджетные фонды	12541	7258
Затраты на электроэнергию	3309	
Накладные расходы	15201	
Бюджет затрат НТИ	110212	

Рассчитаны расходы на материалы и специальное оборудование, энергозатраты и фонд заработной платы участников проекта. Общая смета затрат на проектирование составила 110212 рублей.

4.3 Оценка научно-технического уровня НИР

Значительным результатом проведения НИР является его научно-технический уровень, который описывает, в какой мере выполнены работы и обеспечивается ли научно-технический прогресс в данной области. В последнее время для оценки технической значимости, научной ценности, и эффективности, планируемых и выполняемых исследовательских работ, получил распространение метод балльных оценок, который состоит в том, что каждому фактору относится определенное количество баллов по разработанной шкале. Обобщение оценки проводят по сумме баллов всех показателей или с используя формулу. На основе полученного значения делается заключение о целесообразности работы и определяется коэффициент ее научно-технического уровня по формуле [25]:

$$H_T = \sum_{i=1}^3 R_i \cdot n_i ,$$

где H_T — показатель научно-технического уровня, определенный по трем признакам;

R_i — весовой коэффициент i -го признака научно-технического эффекта (таблица 12); n_i — количественная оценка i -го признака научно-технического эффекта, в баллах (таблицы 13, 14).

Таблица 12 – Весовые коэффициенты признаков НТУ

Признак НТУ	Примерное значение весового коэффициента
1. Уровень новизны	0,5
2. Теоретический уровень	0,3
3. Возможность реализации	0,2

Таблица 13 – Баллы для оценки уровня новизны

Уровень новизны	Характеристика уровня новизны	Баллы
Принципиально новая	Новое научное направление, новая теория, новые факты и закономерности	8-10
Новая	Новое объяснение тех же фактов, закономерностей; ранее полученные результаты дополняются новыми понятиями	5-7
Относительно новая	Систематизируются, обобщаются имеющиеся сведения, обнаруживаются новые связи между ранее установленными факторами	2-4
Не обладает новизной	Уже известный результат	0

Таблица 14 – Баллы значимости теоретических уровней

Теоретический уровень полученных результатов	Баллы
1. Установка закона, разработка новой теории	10
2. Глубокая разработка проблемы, многоспектральный анализ, взаимодействия между факторами, наличие объяснений	8
3. Планирование метода (алгоритм, программа и т. д.)	6
4. Элементарный анализ связей между фактами (наличие гипотезы, объяснения версии, практических рекомендаций)	2
5. Описание отдельных элементарных факторов, изложение наблюдений, опыта, результатов измерений	0,5

Результаты оценок признаков отображены в таблице 15.

Таблица 15 – Количественная оценка признаков НИОКР

Признак научно-технического эффекта	Характеристика признака НИОКР	K_i	P_i
1. Уровень новизны	По-новому объясняются те же факты, закономерности, новые понятия	0,5	6
2. Теоретический уровень	Планирование метода (программа, вещество, алгоритм, устройство и т.п.)	0,3	6
3. Возможность реализации	Время реализации в течение первых лет	0,2	10
4. Масштабы реализации	Одно или несколько предприятий	0,2	2

Показатель научно - технического уровня определяется, используя исходные данные по основным признакам научно-технической эффективности.

$$H_m = 0.5 \cdot 6 + 0.3 \cdot 6 + 0.2 \cdot (10 + 2) = 7.2$$

Таблица 16 - Оценка уровня научно-технического эффекта

Уровень НТУ	Показатель НТУ
Низкий	1 - 4
Средний	4 - 7
Сравнительно высокий	7 - 10
Высокий	10 - 13

Таким образом, данная НИР имеет сравнительно высокий уровень НТУ, равный 7,2.

В данном разделе ВКР был составлен план и определены контрольные события научного исследования. Для построения таблицы временных показателей проведения НИ был рассчитан коэффициент календарности. Для иллюстрации календарного плана была использована диаграмма Ганта.

Проведена оценка коммерческого потенциала и эффективности проведения научного исследования на примере SWOT-анализа.

Рассчитан бюджет научного исследования. Как видно из проведенного анализа общая стоимость настоящего научного исследования 110212 рублей.

Определен показатель научно- технического уровня НИР, который является сравнительно высоким, что говорит о том, что выполненная работа обеспечивает научно-технический прогресс в области машиностроения.

Исходя из полученных результатов вышеприведенного экономического обоснования, ряд задач, поставленных для осуществления цели данного раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» выполнены. В целом данное научное исследование является перспективным и целесообразным с точки зрения ресурсоэффективности.

Заключение

В результате выполненной работы исследована роль планарной подсистемы в рамках многоуровневого описания пластической деформации поликристаллов, когда учитывается самосогласование 3D – кристаллической и 2D – планарной подсистем. Выявлена определяющая роль поверхностных слоев и, преимущественно, приграничных зон в развитии пластической деформации при ползучести поликристаллического высокочистого алюминия. Установлены следующие основные закономерности:

1. Результаты выполненных экспериментов свидетельствуют о том, что при ползучести поликристаллов высокочистого алюминия ведущим процессом пластической деформации является зернограничное скольжение. Оно вызывает развитие многоуровневых трансляционно – ротационных мод аккомодационного пластического течения с последующим растрескиванием поверхностного слоя.

2. Методом интерференционной профилометрии (New View) выявлены следующие эффекты: основная аккомодационная деформация поворотного типа локализована в приграничных зонах, в которых материал испытывает сильную вихревую деформацию (мезовихри, экструзия – интрузия, расслоение на ламели); вязкое вихревое пластическое течение в приграничной зоне связано с локализованной кривизной, которая генерирует экструзию – интрузию материала и его расслоение.

Все эти данные свидетельствуют о ведущей роли зернограничного скольжения при ползучести, следовательно, для повышения сопротивления материала ползучести следует, прежде всего, блокировать развитие в нем зернограничного скольжения.

Список публикаций

1. Панин В.Е., Елсукова Т.Ф., Сурикова Н.С., Попкова Ю.Ф., Борисюк Д.В., Ведущая роль планарной подсистемы поликристаллов в процессах их ползучести. // Актуальные проблемы прочности: сборник тезисов LVII международной конференции, 24-27 мая, 2016 г. / СевГУ. – Севастополь, 2016 – С. 11.

2. Борисюк Д. В., Елсукова Т. Ф., Роль поверхностных слоев и границ зерен в ползучести поликристаллов при повышенной. // Материалы и технологии новых поколений в современном материаловедении: сборник трудов Международной конференции – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2016 – С. 73 – 78.

3. Панин В.Е., Елсукова Т.Ф., Сурикова Н.С., Попкова Ю.Ф., Борисюк Д.В., Ведущая роль планарной подсистемы поликристаллов в процессах их ползучести. Журнал «Деформация и разрушение». (Принята в печать, будет опубликована в 2016г.)