

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

Институт физико-технический
Направление подготовки физика
Кафедра общей физики

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы	
ОБРАЗОВАНИЕ САМОПОДОБНЫХ СТРУКТУР НА ФОЛЬГАХ МОНОКРИСТАЛЛА АЛЮМИНИЯ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОМ ПРОДОЛЬНОМ РАСТЯЖЕНИИ.	

УДК _____

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0621	Петров Александр Сергеевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ОФ	Кузнецов П. В.	к.ф.-м.н		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры МЕН	Сечина А.А.	к.х.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор кафедры ЭБЖ	Федорчук Ю.М.	д. т. н		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав.каф. кафедры Общей физики	Лидер А.М.	к. ф.-м. н.		

Томск – 2016г.

Планируемые результаты обучения
По основной образовательной программе высшего профессионального
образования, направление подготовки Физика,
квалификация - бакалавр

Код результата	Результат обучения (компетенции выпускника)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
Общекультурные (универсальные) компетенции		
P1	Способен самостоятельно приобретать новые знания, использовать современные образовательные и информационные технологии, совершенствовать и развивать свой профессиональный уровень, поддерживать здоровый образ жизни	Требования ФГОС (ОК-1, ОК-2, ОК-7, ОК-8, ОК-11, ОК-19) [2], Критерий 5 АИОР (п. 1.1, 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P2	Способен к поиску, обработке и интерпретации с использованием современных информационных технологий данных, необходимых для формирования суждений по соответствующим социальным, научным и этическим проблемам, как в коллективе, так и индивидуально (на родном и иностранном языке)	Требования ФГОС (ОК-3, ОК-4, ОК-8, ОК-14, ОК-15, ПК-10, ПК-12, ПК-13), Критерий 5 АИОР (пп. 2.1, 2.2, 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P3	Способен критически переосмысливать свой накопленный социальный и профессиональный опыт, изменять при необходимости профиль своей профессиональной деятельности, следовать этическим и правовым нормам и нести ответственность за последствия своей инженерной деятельности	Требования ФГОС (ОК-5, ОК-6, ОК-7, ОК-9, ОК-10, ПК-5, ПК-18), Критерий 5 АИОР (пп. 2.4, 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
Профессиональные компетенции		
P4	Способен к овладению и применению базовых знаний в области естественных наук и математики для решения профессиональных задач, к усвоению основных педагогических моделей, форм и приемов педагогического воздействия на личность;	Требования ФГОС (ОК-1, ОК-9, ОК-10, ОК-11, ПК-1, ПК-2, ПК-10), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P5	Способен применить в проектах по тематике, заданной заинтересованными организациями, экспериментальные методы исследования конденсированного состояния вещества, методы анализа поверхности твердых тел и тонких пленок	Требования ФГОС (ОК-12, ПК-3, ПК-4, ПК-6, ПК-14), Критерий 5 АИОР (п. 1.1, 1.4, 2.2, 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P6	Способен применить в проектах по тематике, заданной заинтересованными организациями, базовые естественнонаучные и	Требования ФГОС (ОК-12, ПК-3, ПК-4, ПК-6, ПК-14), Критерий 5 АИОР (п. 1.1,

	математические знания при получении и исследовании твердого тела.	1.4, 2.2, 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P7	Способен понимать сущность и значение информации в развитии современного информационного общества, к применению на практике полученных знаний при обработке, анализе полученных физических данных в соответствии с профилем профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-12, ОК-16, ОК-21.ПК-1, ПК-2, ПК-5, ПК-6, ПК-7), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P8	Способен понимать и использовать на практике теоретические основы планирования и организации физических исследований, представлять результаты и применять на практике методы управления в сфере природопользования.	Требования ФГОС (ОК-12, ПК- 3, ПК-4, ПК-6, ПК-7, ПК-8, ПК- 9, ПК-14), Критерий 5 АИОР (п. 1.1, 1.4, 2.2, 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P9	Способен формировать суждения о значении и последствиях своей профессиональной деятельности с учетом социальных, правовых, этических и природоохранных аспектов, при необходимости применить ресурсо- и энергосберегающие технологии	Требования ФГОС (ОК-10, ОК-11, ПК-1, ПК-2, ПК-7, ПК-9), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI

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

Институт физико-технический
Направление подготовки физика
Кафедра общей физики

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой

(Подпись)	(Дата)	Лидер А.М. (Ф.И.О.)
-----------	--------	------------------------

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0621	Петров Александр Сергеевич		

Тема работы:

ОБРАЗОВАНИЕ САМОПОДОБНЫХ СТРУКТУР НА ФОЛЬГАХ МОНОКРИСТАЛЛА АЛЮМИНИЯ ПРИ ПРОДОЛЬНОМ РАСТЯЖЕНИИ.	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе (наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический ит. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т.д.).	– образцы монокристалла алюминия и подложка из дюралюминий D16
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов (аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка	– проведение литературного обзора; – создание установки для проведения эксперимента; – исследование продольного растяжения образца алюминия;

задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).	– анализ полученных результатов; – дополнительные разделы: «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение», «Социальная ответственность»
--	---

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
Литературный обзор	Кузнецов П. В. доцент кафедры ОФ
Экспериментальная часть	Гаранин Г.В. зав.лаб. кафедры ОФ
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Сечина А.А. доцент каф. МЕН ИСГТ ТПУ
Социальная ответственность	Федорчук Ю.М. профессор каф. ЭБЖ ИНК ТПУ
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Глава 1 Литературный обзор	

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту: Группа	ФИО
0Б21	Петров Александр Сергеевич

Институт	Физико-технический	Кафедра	Общей физики
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Физика

Тема дипломной работы: Образование самоподобных структур на фольгах монокристалла алюминия при продольном растяжении

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:
1. Исследование эволюции рельефа фольг монокристалла алюминия при продольном растяжении. 2. Описание рабочего места на предмет возникновения: вредных проявлений факторов производственной среды (для обслуживающего персонала необходимо обеспечить оптимальные, в крайнем случае, допустимые значения метеоусловий на рабочем месте, комфортную освещенность рабочего места, уменьшить до допустимых пределов шум от силового блока плазмореактора, вентиляции); опасных проявлений факторов производственной среды (необходимо предусмотреть, если есть, то перечислить средства коллективной и индивидуальной защиты от электро-, пожаро- и взрывоопасности); необходимо предусмотреть мероприятия по предотвращению негативного воздействия на окружающую природную среду используемых энергетических проявлений и образующихся отходов:
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:
5.1. Техногенная безопасность Приведение мероприятий, которые проводились для предотвращения несчастных случаев. 5.1.1 Анализ вредных факторов производственной среды а) Вредные вещества б) Недостаток освещенности в) Повышенный уровень шума и вибрации г) Неблагоприятный микроклимат помещений 5.1.2 Анализ опасных факторов производственной среды а) Электробезопасность б) Пожарная безопасность
5.2 Охрана окружающей среды
5.3 Организационные мероприятия обеспечения безопасности
5.4 Особенности законодательного регулирования проектных решений
5.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях а) ЧС природного характера б) ЧС техногенного характера
Перечень графического материала:
1) Пути эвакуации 2) План размещения светильников на потолке рабочего помещения

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Федорчук Ю.М.	д.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0Б21	Петров А.С.		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
0621	Петров Александр Сергеевич

Институт	Физико-технический	Кафедра	Общей физики
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Физика

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Определение стоимости ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых информационных и человеческих
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Ознакомление и отбор норм и нормативов расходования ресурсов
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Ознакомление с системой налогообложения, со ставками налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ
2. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет
3. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Определение ресурсной, финансовой, экономической составляющей

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. График проведения и бюджет НТИ
4. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры МЕН	Сечена А. А.	к.х.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0621	Петров А. С.		

Министерство образования и науки Российской Федерации

федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Физико-технический

Направление подготовки (специальность) Физика

Уровень образования бакалавриат

Кафедра Общей физики

Период выполнения (осенний / весенний семестр 2015/2016 учебного года)

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН

выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля)/ вид работы(исследования)	Максимальный балл раздела(модуля)
15.05.2015 г	Обзор литературы	20
20.05.2015 г	Объект и методы исследования	25
23.05.2015 г.	Расчет и аналитика	25
15.05.2015 г	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
12.05.2015 г	Социальная ответственность	15

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ОФ	Кузнецов П. В.	к.ф.-м.н		

СОГЛАСОВАНО:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав.каф. кафедры Общей физики	Лидер А.М.	к.ф.-м.н.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 111 с., 14 рис., 15 табл., 53 источников, 3 прил.

Ключевые слова: монокристалл алюминия, рельеф, продольные колебания, микроскопия.

Объектом исследования является фольга монокристалла алюминия кубической ориентации.

Цель работы исследовать возможность образования периодических твидовых структур на фольге монокристалла кристалла алюминия при циклическом продольном растяжении и влияние частоты на их период.

В процессе исследования проводились испытания образца при циклическом продольном растяжении, после данные снимались с помощью методов микроскопии.

В результате исследования было выявлено, что следствии отличия упругих модулей подложки дюралюминия и фольги монокристалла алюминия на алюминии возникают макроскопические полосы.

Показано что при достижении 10000 циклов продольного растяжения на монокристалле алюминия появляются мезоскопические полосы, которые при длительном продольном растяжении трансформируются в «шахматную» структуру.

Степень внедрения: частичная.

Область применения: результаты могут может быть эффективно использованы для количественной характеристики эволюции деформационного рельефа алюминиевых фольг, которые могут применяться в качестве сенсоров для мониторинга усталостных повреждений в авиационных сплавах.

Экономическая эффективность/значимость работы: усовершенствование покрытий.

В будущем планируется провести испытания на изгиб образца монокристалла алюминия.

Оглавление

Введение.....	12
1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР	14
1.1 Алюминий и его сплавы	16
1.2 Создание объектов по принципу «снизу-вверх» и «сверху-вниз».....	21
1.3 Методы формирования наноструктур, основанные на самоорганизации	23
1.4 Регулярные периодические структуры	26
1.5 Особенности макроскопического рельефа монокристаллов алюминия, закрепленных на образцах высокопрочных сплавов при циклическом растяжении.....	31
1.5.1 Неустойчивость Эйлера в системах «жесткое покрытие на податливом основании»	31
1.5.2 Модель Г.П. Черепанова.....	33
1.5.3 Модель Гринфелда	34
2.МАТЕРИАЛЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	37
2.1. Материал исследования	37
2.2. Подготовка поверхности	38
2.2.1 Шлифование и механическое полирование	38
2.2.2 Электролитическое полирование	40
Добавить:	
2.3 Деформация образца с помощью испытательной машины	41
2.4 Возбуждение продольных колебаний в стержне (подложке).....	41
2.5. Возбуждение изгибных колебаний показать, что изгибные колебания преобразуются в продольные на наклеенном, на стержень образце монокристалла — использование резонанса, размеры стержня, расчет (определение) частот (рисунок — схема возбуждения колебаний).	41
3.ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЛЬЕФА МОНОКРИСТАЛЛОВ АЛЮМИНИЯ КУБИЧЕСКОЙ ОРИЕНТАЦИИ, ЗАКРЕПЛЕННЫХ НА ОБРАЗЦАХ ДЮРАЛЬАЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА, ПРИ ПРОДОЛЬНОМ РАСТЯЖЕНИИ	43

3.1 Эволюция макроскопического рельефа на монокристаллах алюминия при продольном растяжении	44
3.1.1 Образование и эволюция макроскопического рельефа на поверхности фольги монокристалла алюминия.	45
3.2 Механизм образования макроскопических полос на фольгах моно- кристаллов алюминия, на образцах алюминиевого сплава при продольном растяжении.	46
4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	48
4.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	48
4.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования	48
4.1.2. Анализ конкурентных технических решений	49
4.1.3. SWOT-анализ.....	50
4.2. Планирование научно-исследовательских работ.....	52
4.2.1. Структура работ в рамках научного исследования	53
4.2.2. Определение трудоемкости выполнения работ	54
4.2.3. Разработка графика проведения научного исследования	55
4.3. Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	58
4.3.1. Расчет материальных затрат НТИ	58
4.3.2. Расчет затрат на специальное оборудование для научных(экспериментальных) работ.....	59
4.3.4. Дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	60
5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	64
5.1. Техногенная безопасность.....	65
5.1.1 Анализ вредных факторов производственной среды.....	70
5.1.2 Анализ опасных факторов производственной среды.....	72
5.2 Охрана окружающей среды	71
5.3 Организационные мероприятия обеспечения безопасности	72

5.4 Особенности законодательного регулирования проектных решений.....	74
5.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	75
5.5.1 ЧС природного характера.....	77
5.5.2 ЧС техногенного характера.....	78
Заключение	79
Список литературы	80
Приложения	85

Введение

Уменьшение материальных объектов до нанометровых размеров приводит к кардинальному изменению их свойств. Исследование этих свойств, и создание на их основе практически значимых наноэлементов с уникальными свойствами определяет, и на ближайшие годы будет определять основное направление развития науки о материалах. Основной проблемой развития технологии в этом направлении является отсутствие простых методов, допускающих реплицирование наноструктур, аналогичных фотолитографическим, лежащим в основе современной микроэлектроники, продвижение которых в нанометровый диапазон ограничено дифракционным пределом. Использование более коротковолнового излучения и альтернативных способов экспонирования позволило уменьшить размеры получаемых структур, что, однако, не решает всех проблем из-за технических сложностей при их реализации. В связи с этим поиск, обоснование и исследование нетрадиционных подходов к формированию наноструктур с заданными параметрами приобретает первостепенную актуальность и практическую значимость.

Перспективным направлением для решения этих проблем является явление самоорганизации, широко распространенное в природе, позволяющее естественным образом формировать и воспроизводить довольно сложные функциональные структуры. Очевидно, что при самоорганизованной сборке не требуется применения дополнительных технологических приемов, а реплицирование достигается автоматически. Одним из недостатков самоорганизации является специфичность избирательных взаимодействий, приводящих к самоорганизованной сборке органических структур, и трудности их воспроизведения при необходимости использования неорганических материалов.

Естественным развитием направления связанного с самоорганизацией является самосборка, основанная на физических воздействиях. При

использовании таких методов возможно получение воспроизводимых результатов и, в отличие от химической самоорганизации, они позволяют создавать структуры из материалов различной природы. При этом разработка поэтапного метода синтеза структур под действием контролируемого физического воздействия, позволила бы получать сверхминиатюрные устройства, свойства которых задаются в процессе роста. Разумеется, что физическое воздействие должно обладать определенной селективностью по отношению к элементам, из которых собирается наноструктура, как и к пространственному расположению этих элементов в формируемом объекте. Поэтому значительных и многообещающих результатов в этом направлении к настоящему времени получено не было.

Тем не менее, в ряде случаев, один из которых является предметом исследований в данной работе, возможно реализовать условия самосборки наноструктур с контролируемым составом и пространственным расположением элементов.

1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1. Алюминий и его сплавы

Алюминий (Al), химический элемент III группы периодической системы, третьего периода, атомный номер 13, атомная масса 26,98154. В природе один стабильный изотоп ^{27}Al . Алюминий р-элемент. На внешнем энергетическом уровне атома алюминия содержится 3 электрона. Алюминий проявляет степень окисления +3 [1].

Относится к группе легких металлов. Содержание алюминия в земной коре 8,8% по массе. По распространенности в природе занимает четвертое место среди всех элементов (после O, H и Si) и первое среди металлов; в свободном виде не встречается.

Простое вещество алюминий – легкий, является парамагнетиком серебристо-белого цвета, легко можно менять форму, литью, механической обработке. Алюминий обладает высокой теплопроводностью и электропроводностью, очень стойкий к коррозии посредством быстрого образования прочных оксидных пленок, защищающих поверхность от дальнейшего взаимодействия [6].

Кристаллическая решётка — вспомогательный геометрический образ, вводимый для анализа строения кристалла. Решётка имеет сходство с канвой или сеткой, что даёт основание называть точки решётки узлами.

Каждой кристаллической структуре соответствуют две решётки: прямая кристаллическая решётка и обратная решётка.

Прямая кристаллическая решётка — это решётка в обычном, реальном пространстве. Прямая кристаллическая решетка алюминия - гранецентрированный куб, которая устойчива при температуре от 4 К до точки плавления. Параметры решётки: 4,050 Å [7].

Обратная кристаллическая решётка — решётка в пространстве Фурье. Обратная к гранецентрированной решетке есть кубическая объёмно-центрированная решетка. Параметры решетки: 1,95 Å.

Таблица 1 – Сравнительные свойства алюминия в микро- и диоксида алюминия в микро- и нано- структурах.

	Микроструктура алюминия (Al)	Микроструктура диоксида алюминия(Al_2O_3)	Нано структура диоксида алюминия (Al_2O_3)(нано порошок)
Плотность алюминия	$\rho=2,7 \text{ г/см}^3$	$\rho=3,99 \text{ г/см}^3$	$\rho=1,2 \text{ г/см}^3$ (при размере ~ 70нм)
Температура плавления:	658-660 °C	2044 °C	2000 °C (при размере ~ 54нм)
Цвет	Серебристо-белый	Белый	Белый

В таблице 1 приведены свойства алюминия в микроструктуре и диоксида алюминия в микроструктуре и в нано структуре (по литературным данным [3,5]). В некоторых случаях заметна существенная разница. Например, плотность диоксида алюминия в нано структуре меньше плотности в микроструктуре на 2, 79 г/ см³. Также мы видим несущественную разницу в температуре плавления.

Для определения вклада в изменение свойств размерных эффектов необходимо рассчитать длину волны де Бройля или длину свободного пробега и сравнить полученное значение с размером nano частиц алюминия.

Формула для расчета:

$$\lambda = \frac{h}{mv}, \quad (1.1)$$

где $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с – постоянная Планка, $m = 9,11 \cdot 10^{-31}$ кг – масса электрона, $v = 10^6$ м/с – скорость электрона.

В результате расчета получается, что $\lambda = 0,7$ нм, поскольку данное значение много меньше размера nano частицы, основное влияние на изменение свойств диоксида алюминия в nano структурах оказывают классические размерные эффекты. Одной из причин размерных эффектов является большая доля приповерхностных атомов, которая возникает вследствие ненасыщенности атомных связей у поверхности, искажения решетки у поверхности, тонких физических эффектов взаимодействия электронов со свободной поверхностью.

Всегда при нормальных условиях на алюминии образуется тонкий и прочный оксидный слой и потому он не реагирует с классическими окислителями: такими как H_2O (t°), O_2 , HNO_3 (без нагревания). Благодаря этим свойствам алюминий практически не подвержен коррозии и потому широко востребован современной промышленностью. В случае разрушения оксидной плёнки, алюминий и его соединения могут выступать, как активный металл-восстановитель. При этом допустить образования оксидной пленки можно, но для этого надо добавлять к алюминию такие металлы, как галлий, индий или олово. При этом на поверхности алюминия происходит смачивание легкоплавкими эвтектиками на основе этих металлов [7].

Дюралюминий — собирательное обозначение группы высокопрочных сплавов на основе алюминия с добавками меди, магния и марганца. Название происходит от торговой марки — коммерческого обозначения одного из первых упрочняемых термообработкой и

последующим старением алюминиевых сплавов. Основными легирующими элементами в нём являлись медь (4,5 % массы), магний (1,5 %) и марганец (0,5 %), остальное — алюминий (93,5 %). Типовое значение предела текучести дуралюминов составляет порядка 250 МПа, предела кратковременной прочности — 400...500 МПа, однако характеристики конкретного сплава зависят от состава и — в особенности — термообработки.

Свойства и применение

Дюралюминий — основной материал, который используется в авиации и космонавтике, а также в других областях техники, таких как машиностроения с высокими требованиями к весовой отдаче.

Первое применение дюралюминия — было в изготовление каркаса дирижаблей в 1911 года, после они активно применялись. Состав сплава и термообработка в годы различались от нынешнего времени. Первой мировой войны создание металла было засекречено. Благодаря своим качествам: высокой удельной прочности дюралюминий начиная с 1920-х годов, становится, важнейшим конструкционным материалом в самолётостроении.

Плотность сплава 2500—2800 кг/м³, температура плавления около 650°C. Сплав широко применяется в авиастроении, при производстве скоростных поездов (например, поездов Синкансэн) и во многих других отраслях машиностроения (так как отличается существенно большей твёрдостью, чем чистый алюминий).

После отжига (нагрева до температуры около 500°C и охлаждения) становится мягким и гибким (как алюминий). После старения (естественного — при +20°C — несколько суток, искусственного — при повышенной температуре — несколько часов) становится твёрдым и жёстким.

Недостаток дуралюминов — низкая коррозионная стойкость, изделия требуют тщательной защиты от коррозии. Листы дуралюминов, как

правило, плакируют чистым алюминием. Так же, как правило, все применяемые в конструкции самолёта детали из алюминиевых сплавов покрываются специально разработанными для авиации грунтовками (обычно жёлтого или зелёного цветов) и, при необходимости, окрашиваются.

1.2. Создание объектов по принципу «снизу-вверх» и «сверху-вниз».

Существуют два подхода к обработке материалов (веществ) и созданию планируемых изделий. Эти подходы принято условно называть технологиями «снизу-вверх» и «сверху-вниз».

Идея технологии «снизу-вверх» заключается в том, что сборка создаваемой конструкции осуществляется непосредственно из элементов «низшего порядка» (атомов молекул, структурных фрагментов биологических клеток и т.п.), располагаемых в требуемом порядке, этот подход можно считать «обратным» по отношению к привычному методу миниатюризации «сверху-вниз», когда мы просто уменьшаем размеры деталей. Например, поштучная укладка атомов на кристаллической поверхности при помощи сканирующего туннельного микроскопа или других устройств этого типа. Метод позволяет наносить друг на друга не только отдельные атомы, но и слои атомов. Однако метод пока имеет низкую эффективность и производительность

Подход «сверху-вниз» основан на уменьшении размеров физических тел механической или иной обработкой, вплоть до получения объектов с ультрамикроскопическими, нанометровыми параметрами. Например, некоторые полупроводниковые устройства, структура которых создается фотолитографической обработкой. При фотолитографии полупроводниковая заготовка подвергается обработке лазерным лучом, что позволяет получить в ней заранее спланированную конфигурацию схемы. Разрешающая

способность (то есть минимальный размер элементов изготавливаемой схемы) определяется при этом длиной волны лазерного излучения (самый минимум примерно 100 нм – очень сложный и трудоемкий).

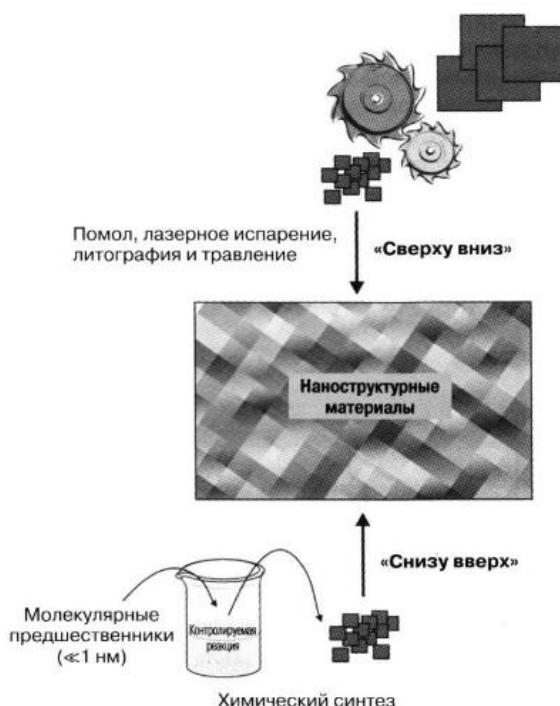


Рис. 1.1. Сравнение подходов «сверху-вниз» и «снизу-вверх» получению наноматериалов.

1.3. Методы формирования наноструктур, основанные на самоорганизации

Невозможность преодолеть ряд недостатков присущих литографии, подвигла ученых искать альтернативные методы формирования структур на наномасштабе. Такой альтернативой стали методы, основанные на самоорганизации, широко распространенной в природе.

Это явление позволяет формировать очень сложные комплексные функциональные структуры без использования каких-либо технологических

процессов. Заметим, что процессы самоорганизации, основанные на химических, физических взаимодействиях и селективном взаимодействии молекул, которые являются базой для формирования наноструктур, позволяют контролировать, как процесс роста структур, так и их форму.

Один из самых простых методов самоорганизации основан на возможности частиц спонтанно агрегировать с помощью нековалентного отталкивания и притяжения между ними [30]. В том случае, когда силы притяжения превышают силы отталкивания, становится возможным необратимый процесс формирования структуры. Естественно ни о какой возможности влиять на геометрию получаемой структуры не может быть и речи.

Методы самоорганизации, основанные на селективном химическом взаимодействии, показывают очень хорошие результаты. Так в работе [31] с помощью технологии послойной самоорганизации с использованием соли полистирол сульфата натрия и полигидрохлорита алламина на стеклянной подложке были получены пленки титана, допированного ионами металлов. Было показано, что такие пленки могут быть использованы как фотокатализаторы.

Большой интерес также представляет самоорганизация, основанная на физических воздействиях. Она позволяет контролировать, как процесс роста структур, так и их форму. Физические воздействия можно разделить на электрические, механические, конвективные и оптические [24].

В настоящей работе развивается физический метод самоорганизации структур на поверхности фольг монокристаллов алюминия под действием циклического растяжения. Недавно было показано [32], что при циклическом растяжении монокристаллов алюминия образуются самоподобные твидовые структуры в диапазоне от нескольких микрон до нескольких сотен микрон.

Самоподобие структур ясно показывает, что они образуются в результате самоорганизации. В работах [1-5] было показано, что образования твидовых структур происходит в результате неустойчивости Гринфелда. Неустойчивость Гринфелда - поверхностный эффект, который имеет чисто упругое происхождение и заключается в следующем. Когда материал имеет поверхность, на которой масса может перераспределиться каким-либо транспортным механизмом, негидростатически нагруженное твердое тело может понизить свою упругую энергию путем образования поверхностных модуляций. Длина волны неустойчивости Гринфелда контролируется балансом между упругой энергией, которая стремится к огрублению поверхности и поверхностным натяжением, которое разглаживает ее и может быть вычислена в рамках линейного приближения теории неустойчивости Гринфелда.

Неустойчивость Гринфелда имеет универсальный характер и возникает в нагруженных твердых телах при выполнении двух условий: наличии негидростатических упругих напряжений и механизма, обеспечивающего перераспределение массы на поверхности твердого тела. Обычно условия для перераспределения массы на поверхности нагруженного твердого тела создаются путем испарения/конденсации или контакта его поверхности с соответствующим раствором или расплавом. Как следует из результата работы [1], перераспределение массы на поверхности высокочистых кристаллов алюминия происходит в процессе их циклической пластической деформации при комнатной температуре без внешнего контакта с какой-либо второй фазой.

Основная идея настоящей работы заключается в целенаправленном изменении внешних условий циклической деформации алюминиевых фольг кубической ориентации с целью уменьшения периода твидовых структур.

1.4 Регулярные периодические структуры

При создании регулярных периодических структур природа не ограничилась системами с фиксированными значениями параметров их решеток. В последние годы ученые обнаружили и изучили еще один их вид – «твердое покрытие не податливым основанием». Фундаментальные структурно-механические свойства этих систем проще всего продемонстрировать, проводя исследование таких широко распространенных объектов, как полимерные пленки с тонким жестким покрытием [6].

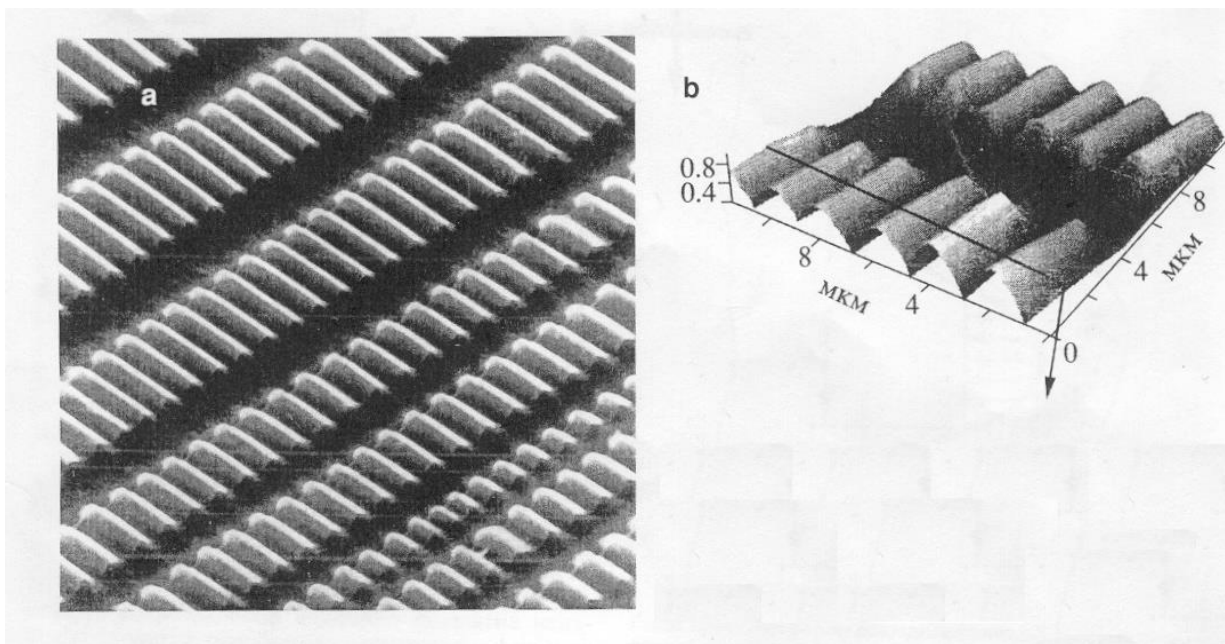


Рисунок 1.2 - Возникновение регулярной периодической структуры при растяжении полимерной пленки с металлическим покрытием (а) – поливинилхлоридная пленка с платиновым покрытием (электронная микрофотография); (б) – полиэфирная пленка с алюминиевым покрытием (изображение получено атомно-силового микроскопа).

Оказывается, простое растяжение, столь распространенное в быту и, казалось, хорошо изученных пленок сопровождается, по крайней мере, двумя явлениями общего характера: растрескиванием покрытия на множество регулярно расположенных «островов» и возникновением высокорегулярного, ориентированного вдоль оси растяжения рельефа. Возникающие структуры высоко, организованы, благодаря чему рассеивают и разлагают свет как настоящие дифракционные решетки. Дискретность полученных

дифрактограмм свидетельствует о высокой степени порядка как в расположении элементов структуры, ответственных за регулярный микрорельеф, так и за размеры фрагментов разрушения покрытия и их расположении на поверхности податливой подложки.

Возникновение указанных структур имеет общий характер и не зависит от природы материала и покрытия. Необходимым условием, определяющим саму возможность их возникновения, является деформация систем типа «твердое покрытие на податливом основании», отличительные свойства, которых – пренебрежимо малая толщина покрытия по сравнению с таковой у подложки и значительное различие в модулях упругости покрытия и подложки.

Для понимания механизма возникновения регулярных структур данного типа важно то, что полимерная пленка, подвергаемая одноосному растяжению, испытывает одновременно два вида деформации: удлинение в одном направлении сопровождается сжатием перпендикулярно в другом. Вследствие этого твердое покрытие на поверхности пленки также испытывает одновременно растяжение и сжатие. Это обстоятельство позволяет отдельно рассмотреть оба обнаруженных явления – образование микрорельефа и фрагментацию покрытия. За возникновение первого ответственно именно сжатие покрытия. Оно представляет собой (неравномерное по диаметру) твердое тело, испытывающее деформацию одноосного сжатия на поверхности растягиваемой пленки [6].

Впервые явления, сопровождающие эти процессы, были рассмотрены знаменитым физиком и математиком, иностранным почетным членом Петербургской АН Л. Эйлером более 200 лет назад.

Он показал, что при одноосном сжатии твердого тела (волокна, пленки, мембраны) при достижении критической нагрузки последнее теряет устойчивость и приобретает форму полуволны. Такого рода явление легко наблюдать в практической жизни, например, сжимая тонкую металлическую

линейку или лист бумаги. Если же тонкое жесткое покрытие прочно связано с податливой подложкой (основанием), то картина потери устойчивости первого решающим образом изменится.

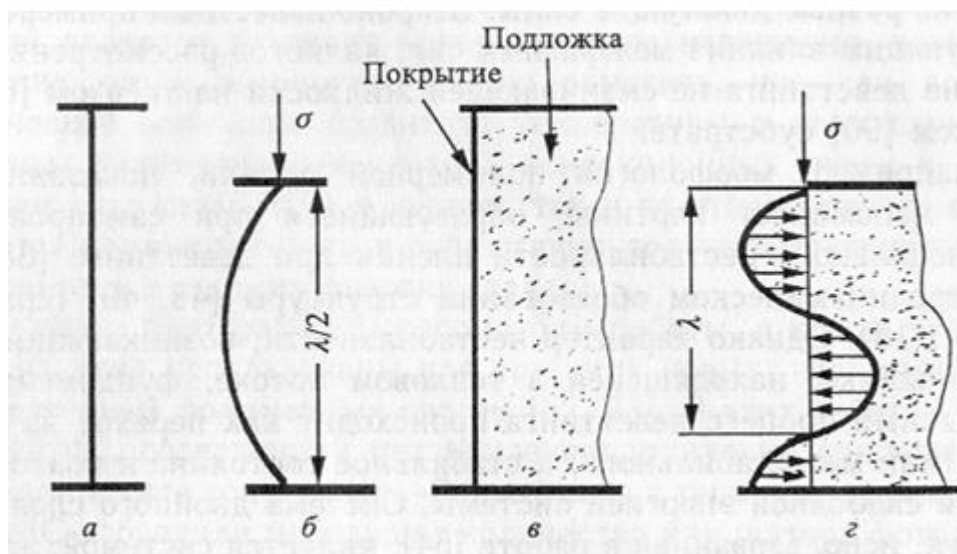


Рисунок 1.3 - Схема изменения формы тела при его сжатии в свободном состоянии (а, б) и на податливом основании (в, г)

При достижении критической сжимающей нагрузки твердое тело не сможет принять форму полуволны, ибо при отклонении от прямолинейной формы на него со стороны подложки будет действовать возвращающая сила, пропорциональная величине отклонения. В результате взаимодействия внешней приложенной силы и возникающего внутреннего сопротивления подложки покрытие неизбежно сложится, подобно складному метру, и примет синусоидальную форму с периодом волны, равным λ . Работа сил деформации при сжатии твердого тела (в нашем случае покрытия), очевидно, растет с увеличением числа совершенных изгибов (с уменьшением периода рельефа). Однако «прикреплена» к покрытию податливая, но весьма протяженная подложка вносит свои поправки в процесс. Очевидно: чем больше период рельефа, тем при прочих равных условиях, больше размер его амплитуды. А это увеличение означает «вытаскивание» части полимера, «прикрепленного» к подложке, на достаточно большое расстояние от его первоначально ровной поверхности. Для такой деформации подложки

необходимо приложить значительное усилие, т.е. совершить определенную работу. Другими словами, при возникновении рельефа увеличение его периода, столь «выгодное» покрытию, совершенно «не выгодно» податливому полимерному основанию. В этих условиях, как всегда, природа идет по пути минимизации энергетических затрат. Их величину применительно к каучуковой и пластичной подложкам ученые химического факультета МГУ сначала рассчитали теоретически, а потом подтвердили экспериментально, что свидетельствует о разумности предположений, сделанных выше относительно механизма этого вида самоорганизации материи.

Регулярная фрагментация жесткой оболочки также связана с особенностями передачи механического напряжения от податливого основания твердому покрытию через границу раздела. В частности, ее характер зависит от механизма деформации подложки. Из повседневного опыта мы знаем, что полимерные пленки деформируются, по крайней мере, двумя способами: однородно (так ведет себя резина) и неоднородно (полиэтиленовая пленка). В последнем случае непрерывно сосуществуют фрагменты, как исходного полимера, так и перешедшего в ориентированное состояние (так называемая шейка).

При однородном деформировании полимера-подложки в начале растяжения размеры образующихся фрагментов покрытия не идентичны. Этот эффект связан с тем, что на начальной стадии разрушения (при малых удлинениях полимера-подложки) решающий вклад во фрагментацию покрытия вносят поверхностные микродефекты, инициирующие разрушение покрытия в местах своей локализации. Такого рода дефекты, очевидно, располагаются в покрытии случайным, хаотическим образом, благодаря чему и происходит его нерегулярное, случайное разрушение [6].

1.5 Особенности макроскопического рельефа монокристаллов алюминия, закрепленных на образцах высокопрочных сплавов при циклическом растяжении

1.5.1 Неустойчивость Эйлера в системах «жесткое покрытие на податливом основании»

Модель Эйлера была использована для анализа неустойчивости систем «жесткое покрытие на податливом основании» в работах[51, 54, 55].

В классической схеме Эйлера рассматривается абсолютно жесткий стержень длиной l , с шарнирно закрепленным нижним концом и сжатый силой F . В вертикальном положении стержень удерживается упругой пружиной, имеющей жесткость c . Это означает, что при повороте стержня на единичный угол в упругом шарнире возникает момент m , равный c .

Предположим, что по какой-то причине стержень получил малое искривление оси, вследствие чего в нем появился изгибающий момент $M = Fv$, где v - отклонение оси балки от центральной линии. Необходимо обратить внимание на то, что выражение для изгибающего момента получено для деформированного состояния стержня, в чем проявляется нелинейность.

Сила Эйлера записывается как

$$F = \frac{n^2 \pi^2 EI}{l^2} \quad (1.2)$$

где E — модуль упругости, I — момент инерции балки, $n = 1, 2, 3, \dots$.

Таким образом, криволинейная форма равновесия стержня возможна при фиксированных значениях сжимающей силы. При $n = 1$, в соответствии с выражением 1.2, стержень изгибается с образованием одной полуволны синусоиды, причем для этого требуется минимальное значение силы F (рис. 1.3). С увеличением n и уменьшением периода синусоидальных возмущений стержня требуется приложить большую по величине силу (рис. 1.3)

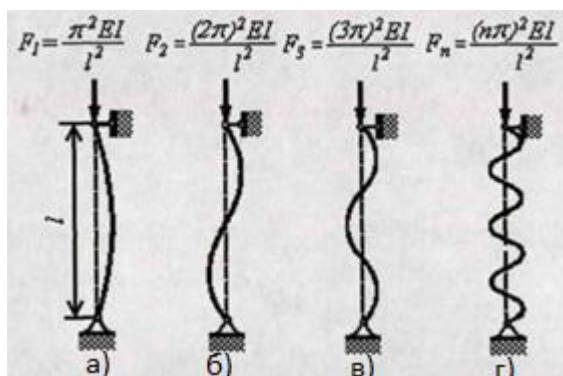


Рисунок 1.4– Формы потери устойчивости стержня, отвечающие разным значениям n

Как следует из обзора экспериментальных работ, образование регулярного микрорельефа при одноосном растяжении полимерных пленок с жестким покрытием связано с пуассоновым поперечным сжатием полимерной подложки при ее одноосном растяжении. Вывод о том, что именно сжатие ответственно за возникновение регулярного микрорельефа, является принципиально важным для понимания этого физического явления.

При одноосном сжатии твердого тела с покрытием при достижении критической нагрузки покрытие теряет устойчивость и приобретает форму синусоиды с длиной волны, равной половине длины сжимаемого тела [60].

Классический случай показан на рис. 1.3 а и рис. 1.3 б. Если же указанный асимметричный объект прочно связать с податливым основанием (рис. 1.3 в), то ситуация, имеющая место при сжатии такого объекта, принципиально изменится. При достижении критической сжимающей нагрузки тело не сможет принять форму полуволны, так как при отклонении от прямолинейной формы на него будет действовать со стороны подложки возвращающая сила, пропорциональная величине отклонения. В результате такого взаимодействия между внешней приложенной силой и возникающим внутренним сопротивлением со стороны подложки, покрытие неизбежно примет синусоидальную форму с периодом волны, равным λ (рис. 1.3 г).

1) Упругая подложка

Таким образом, анализ неустойчивости в рамках упругого приближения на основе решения задачи Эйлера при деформировании системы «твердое покрытие на упругом основании» позволяет качественно объяснить основные особенности возникновения регулярного рельефа при деформировании системы «твердое покрытие на упругой полимерной подложке» и экспериментальные данные по деформированию металлических покрытий на полимерных пленках.

2) Пластичная подложка

Таким образом, анализ неустойчивости двухслойных систем типа «твердое покрытие на податливом основании» в виде тонких металлических покрытий на полимерных пленках на основе решения задачи Эйлера позволяет объяснить следующие особенности возникновения регулярного рельефа при деформировании систем «пленка – подложка».

1.5.2 Модель Г.П. Черепанова

В работе Г.П. Черепанова [30] аналитически решена задача о термических напряжениях, возникающих в системе «тонкая пленка-подложка» с различными коэффициентами термического расширения при осаждении пленки на подложку и охлаждении от температуры осаждения до рабочей температуры.

Были использованы следующие предположения:

1. Толщина пленки намного меньше толщины подложки.
2. В процессе термического деформирования охлаждением/нагреванием в соединяющем слое не образуются сдвиги и трещины (идеальное соединение).
3. Материал подложки однородный, изотропный и линейно термоупругий.
4. Материал пленки однородный, изотропный и идеально термоупругий и пластический.

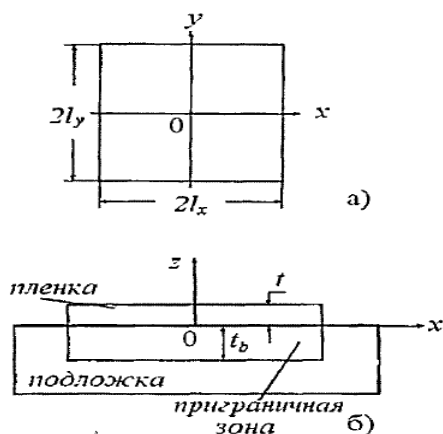


Рисунок 1.5 - Схема соединения «пленка-подложка»: горизонтальная проекция осажденной тонкой пленки, с размерами $2l_x \times 2l_y$; (б) вертикальная проекция, показывающая приграничную зону подложки с размерами $2l_x \times 2l_y \times t_b$.

Таким образом, модель Г.П.Черепанова позволяет объяснить гармонический характер распределения нормальных и касательных напряжений на интерфейсе разнородных сред, а также линейную зависимость амплитуды модуляций профиля поверхности в зависимости от толщины поверхностного слоя. Полученное решение дает последовательное описание прогрессирующих изменений морфологии металлической пленки, закрепленной на керамической подложке в процессе нагревания или охлаждения. При этом в процессе нагревания или охлаждения индуцируется образование небольших бугорков в течение полуцикла сжатия, размеры которых уменьшаются до минимально возможного радиуса.

1.5.3 Модель Гринфельда

В модели Гринфельда рассматривается потеря устойчивости первоначально плоской поверхности нагруженного твердого тела под действием приложенных напряжений. Впервые нестабильность плоской поверхности нагруженного твердого тела теоретически была предсказана Азаро и Тиллером. Общий характер этого явления был показан Гринфельдом в работах путем анализа баланса упругой и свободной поверхностной энергии одноосно и однородно нагруженного твердого тела, поэтому ее часто называют нестабильностью Гринфельда.

В данной модели рассматривается негидростатически нагруженное твердое тело с первоначально плоской поверхностью. Приложенное напряжение увеличивает упругую энергию системы, которое уравнивается силами поверхностного натяжения. При достижении системой некой критической величины энергии, становится выгодным искривление поверхности нагруженного тела и образование волнообразного профиля. Перераспределение материала на поверхности осуществляется посредством какого-либо механизма переноса вещества, например, путем растворения в зоне контакта с химическим раствором, с расплавом, или путем поверхностной диффузии для достаточно нагретого твердого тела. Перенос вещества происходит в поле градиента химического потенциала, который включает свободную поверхностную и упругую энергию системы. Рассмотрим одноосно и однородно нагруженное полубесконечное тело как показано на рис. 1.5

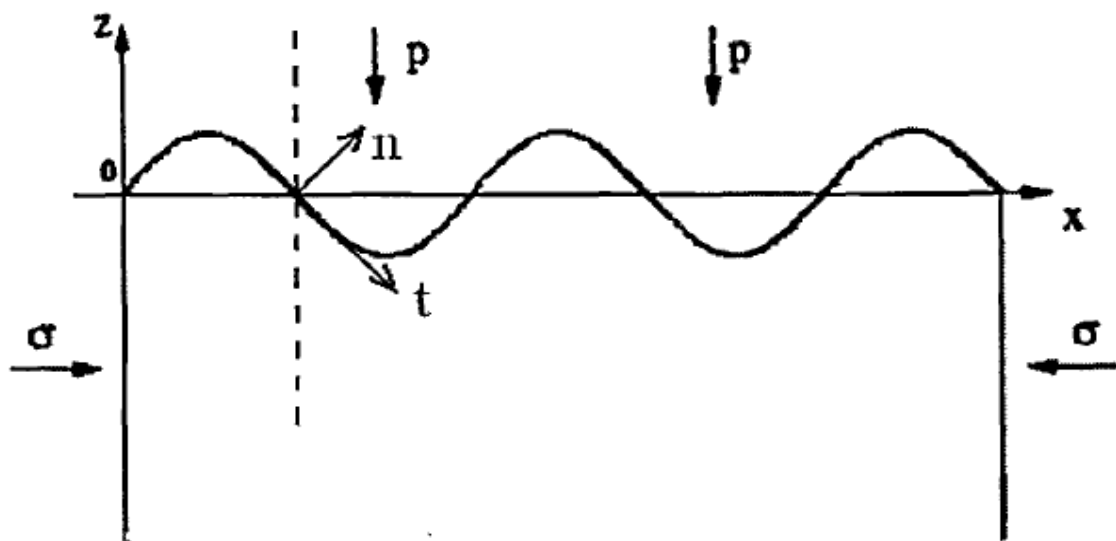


Рисунок 1.6 — Схема неустойчивости Гринфелда. Напряжение σ приложено к краям полубесконечного изотропного тела, находящегося в свободном контакте с собственном расплавом или раствором под давлением p .

Результирующий градиент напряжений вдоль поверхности движет потоки вещества из углублений к вершинам пиков. Поэтому скорость углубления впадин будет увеличиваться, тем самым, увеличивая градиент напряжений. Дестабилизирующее влияние напряжения уравнивается поверхно-

стным натяжением, которое стремится минимизировать площадь поверхности.

В отсутствии поверхностного натяжения, как показано в работе, плоская межфазная граница между кристаллом и его расплавом при сколь угодно малых негидростатических напряжениях внутри твердой фазы будет неустойчива относительно возмущений с любой длиной волны. Поверхностное натяжение подавляет коротковолновые возмущения, но не может стабилизировать форму межфазной границы в области возмущений с достаточно большой длиной волны.

Конкуренция между дестабилизирующим влиянием напряжения, связанного с образованием рельефа, и стабилизирующим влиянием поверхностного натяжения характеризуется дисперсионным уравнением, которое получено на основе линейного анализа неустойчивости и позволяет оценить критическую длину волны возмущений поверхности.

2.МАТЕРИАЛЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1. Материал исследования

Метод Бриджмена позволяет вырастить монокристаллы диаметром до 50 мм, в вертикальную печь помещается тигель из оксида иттрия после производится заправка нужной ориентации. Чистота выращенных монокристаллов алюминия может достигать 99,995% вес. Al. После полученные монокристаллы разрезались электроэрозионным методом на пластины длиной 30, шириной 10 и высотой 0,4-0,5 мм. Далее использовали рентгенографский дифрактометр для определения ориентации кристалла, что позволяло производить резку, не вынимая монокристалл, из держателя обеспечивая высокую точность. Затем полученные образцы подвергались электрополировке, которая убирает деформацию, во время резки утончает поверхность и делает её зеркальной.

Поверхность подложки готовили следующим образом: вначале проводилась механическая шлифовка наждачной бумагой с постепенным уменьшением зерна абразива, после производилось травление образцов.

На рисунке представлена схема крепления образца к подложке при приложении нагрузки на концы подложки. Под воздействием электрического тока подложка начинает растягиваться, совершая циклические колебания.

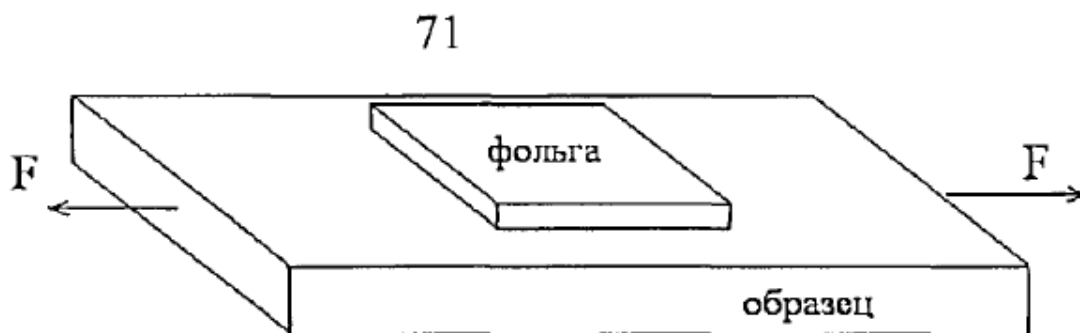


Рисунок 2.1 — Схема нагружения образцов с наклеенной фольгой

2.2 Подготовка поверхности

2.2.1 Шлифование и механическое полирование

Для изучения структуры образца необходимо подготовить на его поверхности гладкую площадку, называемую шлифом. Плоскость шлифа изготавливают шлифованием или полированием. Шлиф для исследования должен быть тщательно обработан для получения зеркального блеска. Недопустимо сглаживание поверхности с помощью пластической деформации, так как при этом искажается структура металла.

Целью шлифовки и механической полировки является получение шлифов без рисок, рельефа, ямок и деформаций. При обычном шлифовании абразивами глубина слоя с искаженной структурой может достичь 75 мкм. Следы деформаций и поверхностного нагрева после обработки резцом обнаруживаются на глубине от 250 до 2000 мкм. В процессе

металлографической шлифовки эти слой должны быть удалены. Наиболее удобным абразивом являются шлифовальные шкурки.

Первичное выравнивание образцов производят на абразивах зернистостью 46 и 60, избегая нагрева образца. При шлифовании образец следует держать в одном положении. При переходе от более грубой бумаги к менее грубой необходимо тщательно мыть образец и руки в струе воды, а также мыть применявшиеся при шлифовании приспособления для того, чтобы исключить возможность переноса частиц крупного абразива на мелкозернистую шлифовальную шкурку. Чем меньше разница в зернистости между двумя последовательно употребляемыми шкурками, тем быстрее проходит шлифование.

Следующая операция тонкое шлифование. Это промежуточная операция между шлифованием и полированием. Она служит для удаления не только глубоких рисков, но и толстого наклепанного поверхностного слоя, оставшегося после резанья и глубокого шлифования. Этот слой может иметь толщину 0,1 мм и более. Оба процесса – тонкое шлифование и полирование – представляет собой удаление с помощью абразива мелких металлических частиц с поверхности металла. При шлифовании возникают риски, и поверхность выглядит тусклой, а полирование делает поверхность более блестящей. Зеркальная поверхность, на которой риски не видны даже под микроскопом, получаются только после окончательной операции – полирования.

Тонкое шлифование обычно проводят на абразивных бумагах. Во время этой операции целесообразно сохранять одно и то же положение образца, чтобы все риски были параллельны. В этом случае после каждой стадии можно проверить, были ли устранены все риски, нанесенные при предыдущей операции.

Промежуточной между операциями тонкого шлифования и грубого полирования является операция притирки. Для полирования применяется

ворсистая ткань. Мягкая ткань с довольно высоким эластичным ворсом в сочетании с очень мелким абразивом дает поверхность без рисков.

Фольги монокристалла алюминия были вырезаны с помощью электроэрозионной резки таким образом, что плоскость (100) являлась плоскостью наблюдения, а направление, в котором прикладывалось растягивающее напряжение, было $\langle 001 \rangle$. После механической шлифовки фольги подвергали электролитической полировке.

2.2.2 Электролитическое полирование

Основная цель электрополирования – приготовления шлифа без рисков для металлографического исследования путем анодного растворения металла в электролите. При электрополировании металл не наклепывается, в то время как даже после тщательного механического полирования эти дефекты имеют место.

Электрополирование особенно необходимо для мягких металлов и для образцов, используемых в электронной микроскопии. Поскольку наличие чистых, неискаженных поверхностей объекта обеспечивает получение высокого разрешения.

При электрополировании происходит преимущественное растворение металла вокруг пустот и неметаллических включений, тем самым, увеличивается их размер.

Для проведения электролитического полирования металлографических образцов необходимо иметь соответствующий электролит, электролитическую ячейку и регулируемый источник тока. Электролитическая ячейка состоит из: сосуда для электролита, изготовленного обычно из стекла, так как этот материал имеет высокую коррозионную стойкость и является диэлектриком. Два электрода: катода, изготовленного, как правило, из нержавеющей стали, и переносного анода в виде зажима, который удерживает образец и позволяет погружать его в ванну

и быстро извлекать, поскольку некоторые электролиты являются весьма активными травящими реактивами.

К выполнению процесса полирования предъявляются следующие требования.

1. Образец должен легко и быстро извлекаться из ванны для промывки.
2. Опускать образец в электролит после наложения разности потенциалов и вынимать до отклонения напряжения.
3. Погружать лишь часть образца в электролит.
4. Положение образца по отношению к катоду должно оставаться постоянным во время электролиза, с тем, что бы ни происходило изменение внутреннего сопротивления ячейки. В большинстве случаев анод располагается горизонтально, чтобы сохранить стабильный вязкий слой.
5. Катод не должен взаимодействовать с электролитом.

Электролитическое полирование кристаллов алюминия осуществляли в электролите H_3PO_4 -75мл, H_2SO_4 -74мл, CrO_3 -16г, H_2O -56мл.

2.3 Деформация образца с помощью испытательной машины

Образцы с клейкими фольгами испытывали на малоцикловую усталость на машине Schenck Sinus 100.40 при следующих параметрах: Частота $f = 1$ Гц, $\sigma_{max} = 165$ и 200 МПа, $\sigma_{min} = 0,1\sigma_{max}$, $\sigma_{mean} = (\sigma_{max} - \sigma_{min})/2$. Образцы испытывали в малоцикловой области усталости. Эволюцию деформационного рельефа поверхности и динамики роста трещин изучали на плоской грани образцов. После достижения определенного числа цикло образцы извлекались из испытательной машины и исследовались с помощью оптического микроскопа.

2.4 Возбуждение продольных колебаний в стержне (подложке) – использование резонанса собственных колебаний.

Исследование монокристалла фольги алюминия толщиной 200 мкм. Размер образца из дуралюмина 150x30x3. Модуль Юнга для алюминия 200 ГПа и плотность 7.8 г/моль.

Получаем выражение для собственной частоты колебания продольных волн

$$f = \frac{\pi}{2l} \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (2.1)$$

где l длина пластины, E модуль Юнга, ρ плотность образца [34].

При длине 150 мм в стальном образце частота составляет 3 кГц.

Рассмотрим однородный стержень длиной l и площадью поперечного сечения S , к концам которого приложены направленные вдоль его оси силы $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$ ($F_1 = F_2 = F$) в результате чего длина стержня изменится на величину Δl (рис.2.2) [35].

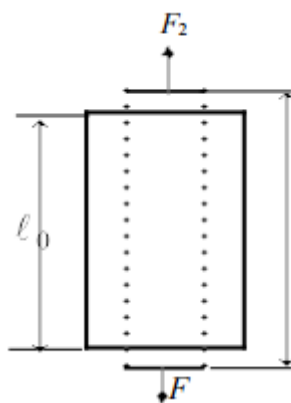


Рис.2.2 однородный стержень длиной l и площадью поперечного сечения S .

Деформацию растяжения (сжатия) характеризуют абсолютным

$$\Delta l = l - l_0 \quad (2.2)$$

и относительным

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (2.3)$$

удлинением, где l_0 – начальная длина стержня, l – конечная длина [36].

Характеристикой состояния деформированного тела является *механическое напряжение* или просто напряжение σ – отношение модуля силы упругости $\vec{F}$ к площади поперечного сечения S стержня

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad (2.4)$$

Сущность метода, используемого в работе, состоит в следующем. В металлическом стержне, закрепленном посередине, возбуждаются с помощью звукового генератора продольные колебания. В стержне образуется стоячая волна – на свободном конце стержня возникает пучность колебаний, а в точке закрепления – *узел* [37].

$$f = \frac{\pi}{2} \frac{1}{0,150} \sqrt{\frac{70 \cdot 10^9}{2,6989}} = 4500 \text{ Гц}$$

Частота возбуждения продольных колебаний составила 4,5 кГц для пластины длиной 150 мм. Полученная оценка частоты резонанса продольных колебаний стержня позволяет сделать вывод о том, что возможно возбуждение колебаний на частотах в диапазоне нескольких килогерц. При этом следует учитывать трудность возбуждения продольных колебаний достаточной амплитуды, которая будет определяться модулем упругости материала стержня и коэффициентом затухания продольных волн. Проведенные экспериментальные оценки возможности возбуждения продольной стоячей волны в стержне не показали необходимой амплитуды колебаний.

2.5. Возбуждение изгибных колебаний

Стержень длины l с прямолинейной осью, закрепленный одним концом, как показано на рисунке 2.3, способен совершать изгибные колебания. Пусть ось x совпадает с прямой осью стержня, а ось y направлена в сторону предполагаемого отклонения от положения равновесия; отклонение полагается малым.

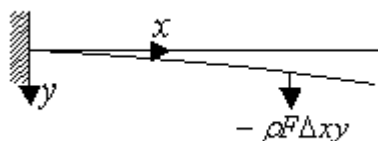


Рисунок 2.3 - Колебания изгиба зашцементированного стержня

Рассмотрим вначале колебательный процесс при условии, что каждый элемент стержня колеблется как твердая частица параллельно оси y . Остаются неучтенными, таким образом, все побочные влияния, обусловленные тем, что в действительности из-за изменения наклонов упругой линии при колебаниях каждый элемент стержня поворачивается с некоторым угловым ускорением и что элементы стержня не сохраняют свою форму и вследствие изменения углов возникают напряжения сдвига и т.д. Рассматривая затем при обычных обозначениях (плотность ρ , площадь сечения F , жесткость на изгиб α) силу инерции в качестве нагрузки P , из известного уравнения изгиба стержня, можно оценить резонансную частоту изгибных колебаний стержня:

$$f = \sqrt{\frac{g3EI_z}{\rho l^3}} = \sqrt{\frac{9,8 \cdot 3 \cdot 70 \cdot 10^9 \cdot 350 \cdot 10^{-12}}{2,6989 \cdot 0,15^3}} = 240 \text{ Гц}$$

где g – скорость свободного падения, E – модуль Юнга, I_z – момент инерции одной балки, ρ – плотность алюминия l – длина балки.

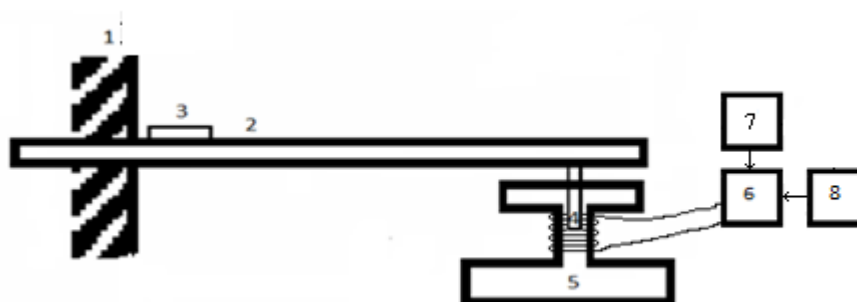


Рис.2.4 схема стенда изгибных колебаний стержня

где 1. зажим, 2. подложка, 3. образец, 4. магнит, 5. катушка, 6. усилитель, 7 блок питания, 8 генератор

На подложку, изготовленной из дюралюминия размером 150x5x2, помещался исследуемый образец из алюминиевой фольги. На подложку был приклеен магнит, который являлся частью электромагнитной системы возбуждения колебаний. Переменное магнитное поле заданной частоты возбуждалось в катушке, содержащей 240 витков медного провода диаметром 0,3 мм.

Технические характеристики использованных приборов приведены в приложении Б. Габаритный рисунок катушки приведен в приложении В.

Для испытания стенда изгибных колебаний стержня были проведены измерения резонансных частот колебаний для различной свободной длины стержня, результаты представлены в таблице 2.1. Частота колебаний задавалась генератором звуковых частот ГСС-93 в диапазоне от 120 до 180 Гц с шагом 1 Гц. Задающий сигнал генератора усиливался усилителем мощности звуковых частот, амплитуда колебаний на катушке контролировалась осциллографом и составляла 5В, момент наступления резонанса определялся визуально по максимуму видимых колебаний свободного конца стержня. Амплитуда колебаний достигала 5-8 мм.

Таблица 2.1 экспериментальные значения резонансной частоты при изгибных колебаниях.

Длина	Резонансная частота					Среднее зн.
12 см	138	137	139	137	142	138±0,3
10 см	151	149	146	148	147	148±0,5
8 см	163	162	162	161	162	162±0,2

Данные испытаний показали, что при уменьшении длины незакрепленного конца подложки увеличивается резонансная частота колебаний, а также, что ширина резонанса для данной колебательной имеет величину порядка нескольких герц.

Выводы.

1. Разработана электромагнитная система для циклического растяжения образцов путем знакопеременного изгиба с амплитудой $A = \pm 3$ мм при изменении частоты колебаний в диапазоне 120-180 Гц.

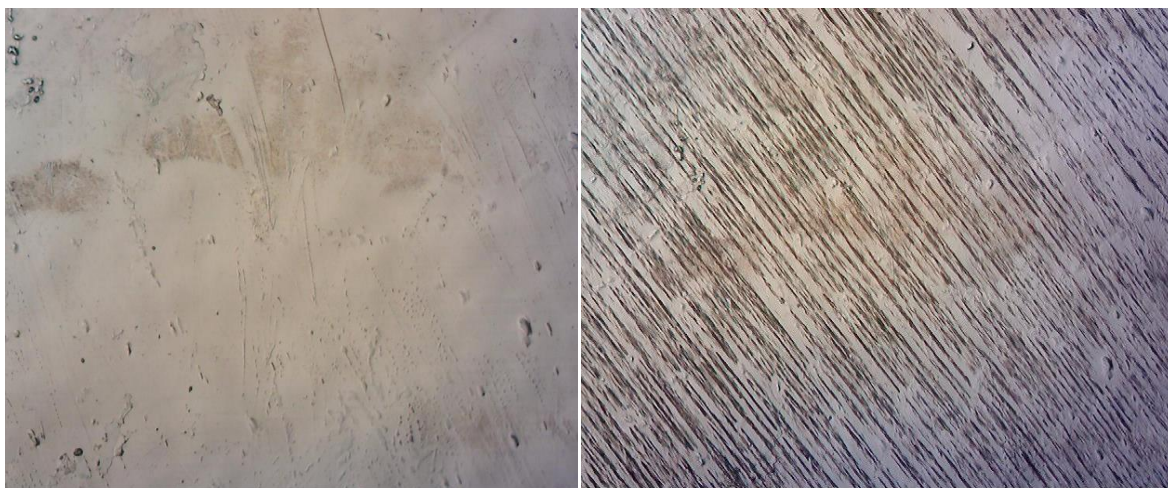
3. ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЛЬЕФА МОНОКРИСТАЛЛОВ АЛЮМИНИЯ КУБИЧЕСКОЙ ОРИЕНТАЦИИ, ЗАКРЕПЛЕННЫХ НА ОБРАЗЦАХ ДЮРАЛЬАЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА, ПРИ ПРОДОЛЬНОМ РАСТЯЖЕНИИ

3.1 Эволюция макроскопического рельефа на монокристаллах алюминия при продольном растяжении

В данном разделе приведены результаты исследований макроскопического рельефа монокристалла алюминия кубической ориентации, которые подверглись циклическому растяжению. Выдвинуты предположения о механизме образования продольных полос при продольном растяжении на монокристаллах алюминия, которые впервые наблюдались в работах[37]

3.1.1 Образование и эволюция макроскопического рельефа на поверхности фольги монокристалла алюминия.

Образование макроскопических полос можно видеть на лицевой поверхности фольги. Система макроскопических полос представляет рельеф, который направлен вдоль оси растяжения (рис. 3.1). На рисунке 3.1 б можно наблюдать макроскопические полосы, образованные в процессе продольного растяжения.



а)

б)

Рисунок 3.1 - Свободная поверхность фольги монокристалла алюминия (увеличение x50):
а) в исходном состоянии и б) после 10000 циклов.

С помощью оптического микроскопа было определено, что признаки пластической деформации не наблюдаются при большом увеличении. Пластическая деформация наблюдается только в некоторых выбранных областях. В этих областях наблюдается исходное состояние кристалла.

Можно предположить, что ширина макроскопических полос зависит от материала подложки и прикладываемой нагрузки.

Макроскопические полосы в поперечном направлении можно рассматривать как ядро балки, на которые действуют силы сжатия и растяжения. На ядре балке можно увидеть, что на границе образуется пластический шарнир, который образует систему самоуравновешивающихся внутренних сил.

Период продольных макроскопических полос не изменяет образцов, можно предположить, что в процессе продольной деформации происходит упругопластическая деформация фольги алюминия, в свою очередь она складывается и образует продольный гофр, что приводит к пластической деформации кристалла.

В результате исследований показали, что на монокристалле алюминия наклеенных на дюралюминий сплав, который подвергался продольному

растяжению, формируются макроскопические полосы, который показывает весь рельеф поверхности. На фольге монокристалла алюминия образуется макроскопических полос, которая направлена под углом ~ 40 градусов к направлению внешней силы, которая была названа «шахматной» структурой[38].

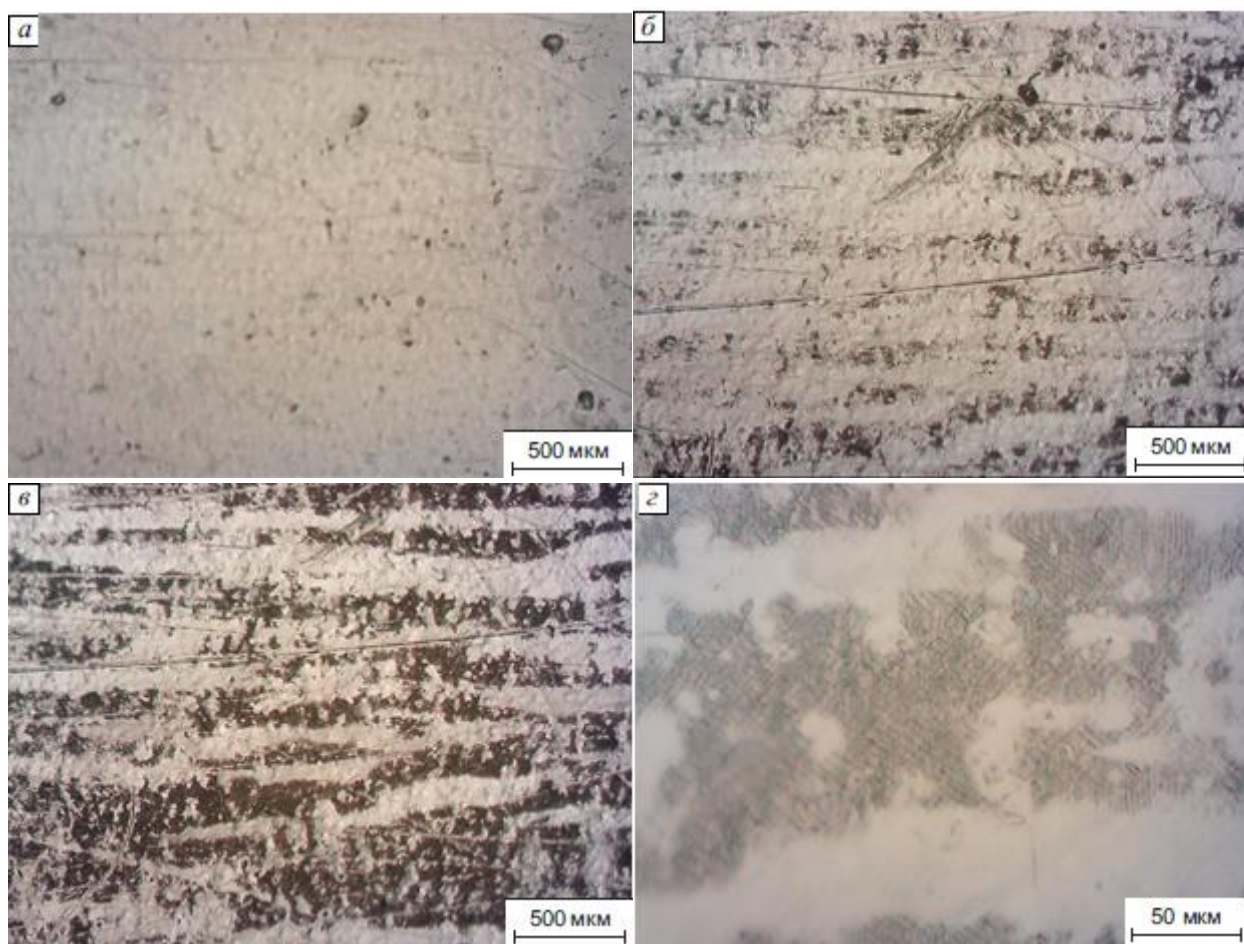


Рис.3.2 микроструктура поверхности фольги а) исходный образец и увеличении в 50 раз
 б) после $N > 12000$ циклов и увеличении в 50 раз
 в) после $N > 42000$ циклов и увеличении в 50 раз
 г) после $N > 42000$ циклов и увеличении в 500 раз

Полученные результаты исследования макроскопического рельефа фольг хорошо согласуется с данными работ [1-5]. Исходный образец представлен под (рис. 1 а) представляет собой гладкую поверхность после электролитической полировки. Образование отчетливо видимого в оптическом микроскопе рельефа на фольге наблюдается при $N > 12000$ циклов

(рис. 1, б), рельеф представляет систему макроскопических полос, направленных вдоль оси растяжения. При увеличении числа циклов до $N > 42000$ можно видеть, что продольные макроскопические полосы имеют разную длину (рис. 1, в). Пластическая деформация сосредоточена в областях окружающих макроскопические полосы (рис. 1, г). Средняя ширина продольных макроскопических полос составила 80 мкм, среднее расстояние между ними составила 220 мкм, таким образом, период полос равняется 300 мкм. Подсчет числа полос и изменение расстояния между ними после разного числа циклов испытания показали, что ширина полос незначительно уменьшается, однако число и период полос не изменяются во всем исследованном диапазоне числа циклов.

3.2 Механизм образования макроскопических полос на фольгах монокристаллов алюминия, на образцах алюминиевого сплава при продольном растяжении

Из анализа литературных данных[37], образования «шахматной» структуры при деформации очень распространено. Образование подобных структур связано тепловым расширением большая часть, вызывает на интерфейсе возникновения сред периодически распределенных напряжений. В свою очередь надо учитывать, когда речь идет о механизме образования макроскопических полос на монокристаллах алюминия при продольном растяжении необходимо учитывать двухслойный характер исследованной нами системы.

В процессе циклического растяжения образцов, вследствие эффекта Пуассона, происходит сокращение его поперечных размеров (сечения)[26]. Происходят изменения размеров образца под воздействием отличного анизотропного упругого модуля монокристалла алюминия. На интерфейсе в течение каждого цикла появляются сжимающие напряжения, которые могут

иметь синусоидальный вид (рис. 3.2). Период распределения будет зависеть от коэффициента Пуассона, толщины фольги монокристалла алюминия и модуля упругости. Что в свою очередь приводит к возникновению напряжений на фольге.

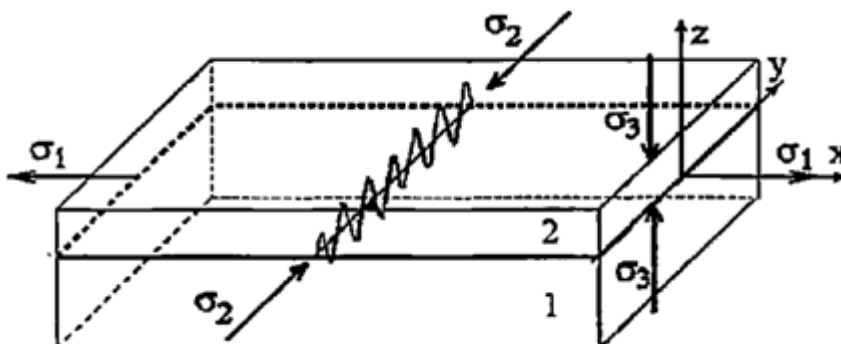


Рис.3.3 Схема распределения нормальных напряжений на фольге приклепленных к образцу: 1-образец, 2 - фольга

Выполнен качественный анализ напряженно-деформированного на образце монокристалла алюминия. Так как в системе присутствует скольжение алюминиевую фольгу можно рассматривать как изотропную среду.

Пластические деформации на фольге зависят от внутренних напряжений (рис. 3.2). Пусть σ_1 – растягивающее напряжение вдоль оси X, σ_2 – сжимающее напряжение на фольгах монокристалла алюминия вдоль оси Y и σ_3 – сжимающее напряжение вдоль оси Z (рис. 3.2)[38].

Когда увеличивается число циклов, фольга начинает упрочняться, и напряжения увеличиваются. Таким образом, образование макроскопических полос обусловлено пластической деформацией.

Таким образом, результаты циклического растяжения фольг монокристалла алюминия, наклеенных на плоские образца высокопрочного алюминия, при частоте циклической деформации $f=100$ Герц показывают, что принципиальных отличий образующегося деформационного рельефа от наблюдавшегося ранее при частоте $f=4$ Герца не наблюдается. Отличия состоят в уменьшении толщины и периода продольных макроскопических

полос, которые становятся менее регулярными по сравнению с полосами, наблюдавшимися при частоте $f=4$ Герца. Средний период твидовой структуры при частоте $f=100$ Герц становится чуть больше $T=3,4$ мкм, чем при частоте 4 Герца $T=2,8$ мкм.

Эти результаты показывают, что предположение, высказанное в работе [1] о возможности разработки метода создания упорядоченных периодических твидовых структур с нанометровым периодом, путем контролируемого изменения частоты механических колебаний не подтверждается.

Полученный результат можно объяснить следующим образом. Как было показано в [2], образование твидовой структуры на фольгах кристаллов алюминия происходит в условиях неустойчивости Гринфелда. Неустойчивость Гринфелда имеет чисто термодинамическую природу, поскольку ее появление было показано путем вариации второй производной от энергии Гиббса системы образец - поверхностный слой. Поэтому изменение периода поверхностных модуляций при постоянном поверхностном натяжении может происходить только в результате изменения термодинамических параметров (температура, давление и т.д.). Слабое изменение периода твидовой структуры от частоты колебаний показывает, что период поверхностных модуляций зависит только от фундаментальных свойств кристалла алюминия, таких как поверхностное натяжение, модуль упругости, а также энергии образования и энергии миграции вакансий и междоузельных атомов, которые остаются неизменными в эксперименте.

Выводы по разделу

1. Циклическое растяжение образцов дуралюмина с наклеенными фольгами монокристалла алюминия кубической ориентации показали, что при частоте колебаний $f=100$ гц наблюдается уменьшение ширины и периода продольных

макроскопических полос и небольшой рост периода твидовой структуры $T = 3,4$ мкм.

2. Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что период твидовой структуры определяется фундаментальными характеристиками монокристалла алюминия (такими, как модули упругости, коэффициент Пуассона, поверхностные напряжения, а также энергией образования и миграции точечных дефектов).

4.ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Введение

Целью настоящей работы является исследование эволюции рельефа фольг алюминия при продольном растяжении. Работа проводилась в лабораториях Томского Политехнического университета. В ходе работы использовалось такое оборудование как атомно-силовой микроскоп, растровый микроскоп, генератор, осциллограф и т. Д[40].

4.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

4.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования

Сегментирование – это разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определенный товар (услуга).

Одним из основных производителей алюминия является компания «Русал» она производит 3800 тыс. тон в год. Процесс производства алюминия включает в себя добычу бокситов, их переработку в глинозем и последующее производство алюминия. Ограниченный доступ к коммерчески извлекаемым запасам бокситов и истощение руд являются основным ограничением для развития алюминиевой отрасли.

4.1.2. Анализ конкурентных технических решений

Проведем анализ двух конкурирующих материалов на основе алюминия компаний: «Русал» и «Chalco» (таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений.

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1.Изученность фармакокинетики	0,7	5	5	2	3,5	3,5	1,4
2. Определенный состав	0,05	5	5	3	0,25	0,25	0,15
3. Внешний вид и цвет	0,03	5	4	4	0,15	0,12	0,12
4. Устойчивость к свету	0,02	2	2	5	0,04	0,04	0,1
5. Запах	0,02	5	5	2	0,1	0,1	0,04
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,01	5	5	2	0,05	0,05	0,02
2. Уровень проникновения на рынок	0,01	5	5	5	0,05	0,05	0,05
3. Цена	0,06	3	3	5	0,18	0,18	0,3
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,01	5	5	3	0,05	0,05	0,03
5.Послепродажное обслуживание	0,01	3	3	3	0,03	0,03	0,03
6. Финансирование научной разработки	0,01	4	4	4	0,04	0,04	0,04
7. Срок выхода на рынок	0,02	5	5	5	0,1	0,1	0,1
8. Наличие сертификации разработки	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
Итого	1				4,79	4,76	2,38

где Б_ф – проектируемая методика,

Б_{к1} – газовая хроматография.

БК2 – тонкослойная хроматография.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_j, \quad (4.1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_j – балл i -го показателя.

Разработка и производства проводится в соответствии стандартов GLP и GMP, значит, конкурентоспособность продукта можно оценить по коммерческим критериям эффективности[41]. Суммарный балл конкурентоспособности для проектируемой методики максимален. Уязвимость нашей методики заключается в том, что для послепродажного обслуживания необходимо привлекать дополнительные финансы, однако более высокая изученность фармакокинетики позволяет нашей методике успешно конкурировать.

4.1.3. SWOT-анализ

SWOT – сильные стороны (strengths), слабые стороны (weaknesses), возможности (opportunities) и угрозы (threats) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Он проводится в несколько этапов[43]. (таблица 4.2 и 4.3)

Таблица 4.2 – Матрица SWOT.

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта:	Слабые стороны научно-исследовательского проекта:
	С1. Заявленная экономичность технологии. С2. Экологичность технологии. С3. Более низкая стоимость исследований по сравнению с другими. С4. Наличие бюджетного	Сл1. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой Сл2. Большой срок поставок материалов и

	финансирования. С5. Квалифицированный персонал.	комплектующий, используемые при проведении научного исследования Сл3. Высокая продолжительность подготовительных стадий Сл4. Низкий уровень проникновения на рынок
Возможности: В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ В2. Снижение таможенных пошлин на сырье и материалы, используемые при научных исследований В3. Повышение стоимости конкурентных разработок	Инфраструктура ТПУ позволяет снизить стоимость исследования по сравнению с другими и облегчает получение бюджетного финансирования. Снижение таможенных пошлин и повышение стоимости конкурентных разработок влияет на все сильные стороны кроме экологичности технологии	Инфраструктура ТПУ позволяет снизить срок поставок, продолжительность стадий и повысить уровень проникновения на рынок. Снижение таможенных пошлин позволяет снизить срок поставок материалов.
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства У2. Развитая конкуренция технологий производства У3. Ограничения на экспорт технологии У4. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции У5. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства	Отсутствие спроса может привести к утечке квалифицированных кадров и прекращению бюджетного финансирования. Развитая конкуренция может не дать продукту удержаться на рынке. Ограничение на экспорт может способствовать уменьшению бюджетному финансированию. Введение дополнительных требований к сертификации продукта и несвоевременное финансовое обеспечение влияет на экономичность и цену продукта.	Отсутствие спроса, развитая конкуренция и ограничения на экспорт приведут к низкому уровню проникновения на рынок. Введение дополнительных требований к сертификации приводит в сочетании с отсутствием квалифицированных кадров значительно усложняет вывод продукции на рынок.

Таблица 4.3 – Интерактивная матрица проекта.

Сильные стороны проекта

Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	0	-	+	+	-
	B2	+	-	+	+	+
	B3	+	-	+	+	+
Сильные стороны проекта						
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	Y1	-	-	-	+	+
	Y2	+	0	+	+	+
	Y3	-	-	-	+	-
	Y4	+	-	+	+	+
	Y5	+	-	+	+	+
Слабые стороны проекта						
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	
	B1	-	+	+	+	
	B2	-	+	-	-	
	B3	0	0	0	0	
Слабые стороны проекта						
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	
	Y1	-	-	-	+	
	Y2	-	-	-	+	
	Y3	-	-	-	+	
	Y4	+	0	0	+	
	Y5	0	0	0	0	

4.2. Планирование научно-исследовательских работ

4.2.1. Структура работ в рамках научного исследования

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей[44].

Таблица 4.4 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель темы
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Дипломник
	3	Выбор направления исследований	Руководитель, Дипломник
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, Дипломник
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Дипломник
	6	Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	Дипломник
	7	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Руководитель, Дипломник
Обобщение и оценка результатов	8	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, Дипломник
	9	Определение целесообразности проведения ОКР	Руководитель, Дипломник
<i>Проведение ОКР</i>			
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	10	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Дипломник

4.2.2. Определение трудоемкости выполнения работ

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к.

зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости используется следующая формула:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{min}i} + 2t_{\text{max}i}}{5}, \quad (4.2)$$

где – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

– минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

– максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Определение продолжительности работ в рабочих днях производится по формуле:

$$T_{pi} = \frac{t_{\text{ож}i}}{Ч_i}, \quad (4.3)$$

где – продолжительность одной работы, раб.дн.;

– ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

– численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.[45].

4.2.3. Разработка графика проведения научного исследования

Формула для перевода рабочих дней в календарные год:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (4.4)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Формула для расчета коэффициента календарности:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (4.5)$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

Расчет коэффициента календарности:

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,478$$

Таблица 4.5–Временные показатели проведения научного исследования

Название Работы (Этапы)	Трудоёмкость работ			Исполнитель и	Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	$t_{\min}$, чел-дн	$t_{\max}$, чел- дни	$t_{\text{ожид}}$, чел-дн			
Разработка технич. Задания	1	3	1,8	Руков.	1,8	3
Подбор и изучение материалов по теме	17	21	18,6	Дипл.	18,6	28
Выбор напр. Исслед.	4	6	4,8	Руков., дипл.	2,4	4
Календарное планирование работ	2	4	2,4	Руков., дипл.	1,2	2
Проведение теоретических расчетов и обоснований	7	10	8,2	Дипл.	8,2	13
Построение моделей и проведение экспериментов	27	30	28,2	Дипл.	28,2	42
Сопоставл. Результ. Эксперим. Стеоретич. Исслед.	4	6	4,8	Руков., дипл.	2,4	4
Оценка эффективности полученных результатов	2	4	2,4	Руков., дипл.	1,2	2
Опред. Целесообр. Проведения ОКР	2	4	2,4	Руков., дипл.	1,2	2

Оформление отчета по НИР	7	9	7,8	Дипл.	7,8	12
--------------------------	---	---	-----	-------	-----	----

Таблица 4.6 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№ работ	Вид работ	Исполнители	T_{ki} , кал.дн	Продолжительность выполнения работ													
				февр.		Март			апрель			Май			июнь		
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Составление ТЗ	Руководитель	3														
2	Изучение литературы	Дипломник	28														
3	Выбор напр. Исслед.	Руководитель, Дипломник	4														
4	Календарн. Планир.	Руководитель, Дипломник	2														
5	Теор. Расч. Иобоснов.	Дипломник	13														
6	Постр. Моделей, провед. Эксперим.	Дипломник	42														
7	Сопост. Результ. Исслед. Стеор.	Руководитель, Дипломник	4														
8	Оценка эффективн.	Руководитель, Дипломник	2														
9	Опред. Целесообр. ОКР	Руководитель, Дипломник	2														
10	Оформление отчета по НИР	Дипломник	12														



- Руководитель



- Дипломник

4.3. Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

4.3.1. Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$З_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m Ц_i \cdot N_{расх\ i} , \quad (4.6)$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расх\ i}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

$Ц_i$ – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы (15%)

Таблица 4.7 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед. руб.	Затраты материалы, ($З_m$), руб.
Алюминий	кг	0,93	75	69,75
Медь	кг	0,045	250	11,25
Магний	кг	0,015	35	0,525
Марганец	кг	0,005	150	0,75
Итого				82,275

4.3.2. Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

Учтем стоимость оборудования, используемого при выполнении конкретного НТИ и имеющегося в данной научно-технической организации, в виде амортизационных отчислений. Расчет проводим по методу равномерного прямолинейного списания – стоимость списывается равномерными долями в течение периода эксплуатации[45].

$$AO_i = \frac{C_{\text{пер}}}{t}, \quad (7)$$

где АО – годовые амортизационные отчисления, руб;

t – срок службы оборудования, год.

Спер – первоначальная стоимость оборудования, руб;

Таблица 4.8 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования
для научных работ

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, руб.	Срок службы оборудования, лет	Амортизационные отчисления период выполнения работы, руб.
1.	ХроматографD IONEXUltiMate 3000	1	70000	70000	10	7790
2.	pH-метр METTLER TOLED FE-20 ATC KIT	1	5000	5000	10	205
3	Центрифуга eppendorfcen- trifuge 5702	1	4500	4500	10	1845
4	ЦентрифугаEL MI CM-50	1	2000	2000	10	820
5	Весы электронные GR-120	1	10000	10000	10	410
6	УФ- спектрометр UNICO	1	22000	22000	10	9020
7	МониторSync Master E1920	1	500	500	10	205
8	ПроцессорOPT IPLEX 390	1	1000	1000	10	410
9	ХолодильникH aier HYS-940	1	5000	5000	10	2050
Итого			120000	120000	-	9840

i. Основная заработная плата исполнителей темы

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп}, \quad (4.8)$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата;

$З_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $З_{осн}$).

Основная заработная плата рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_p, \quad (4.9)$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата одного работника;

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. Дн. (табл. 8);

$З_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{дн} = \frac{З_m \cdot M}{F_d}, \quad (4.10)$$

где $З_m$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб.дн. (таблица 4.9).

Таблица 4.9 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель
Календарное число дней	126
Количество нерабочих дней	
- выходные дни	38
- праздничные дни	4
Потери рабочего времени	
- отпуск	0
- невыходы по болезни	0
Действительный годовой фонд рабочего времени	84

Месячный должностной оклад работника:

$$З_{\text{м}} = З_{\text{тс}} \cdot K_{\text{р}} \cdot Ч \cdot Д, \quad (4.11)$$

где $З_{\text{тс}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

$Ч$ – число часов

$Д$ – число дней

Таблица 4.10 –Тарифная ставка работников ТПУ

Контингент обучающихся	Ставки почасовой оплаты без учета РК(руб.)		
	Профессор доктор наук	Доцент, кандидат наук	Лица, не имеющие ученой степени
Обучающиеся в общеобразовательных учреждениях, учреждениях начального и среднего образования, другие аналогичные категории обучающихся слушатели курсов.	300	225	150
Студенты	400	300	175
Аспиранты, слушатели учебных заведений по повышению квалификации руководящих работников и специалистов	500	375	220

Расчёт основной заработной платы проводился по должности преподавателя доцент, обучающий студентов.

Должностной оклад работника за все время работы:

$$З_{\text{м}} = 300 \cdot 1,3 \cdot 8 \cdot 84 = 262080 \text{ руб.}$$

4.3.4. Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}}, \quad (4.12)$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (примем равным 0,12).

$$З_{\text{доп(рук)}} = 0,12 \cdot 262080 = 31449 \text{ руб.}$$

4.3.5. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \quad (4.13)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.). Принимаем равным 0,271[46].

На 2015 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году водится пониженная ставка – 27,1%¹.

Таблица 4.11 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель проекта	262080	31449
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271	
Итого: 79547		

¹ Федеральный закон от 24.07.2009 №212-ФЗ «О страховых взносах в Пенсионный фонд Российской Федерации, Фонд социального страхования Российской Федерации, Федеральный фонд обязательного медицинского страхования»

4.3.6. Накладные расходы

Величина накладных расходов определяется по следующей формуле:

$$З_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (4.14)$$

$$З_{\text{накл}} = 154779,84 \cdot 0,16 = 24764,77,$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

4.3.7. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Таблица 4.12 – Расчет бюджета затрат ФТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
1. Материальные затраты НТИ	16615,35	Пункт 3.4.1
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	98400	Пункт 3.4.2
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	262080	Пункт 3.4.3
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	31449	Пункт 3.4.4
5. Отчисления во внебюджетные фонды	79547	Пункт 3.4.5
6. Накладные расходы	24764,77	16 % от суммы ст. 1-5
7. Бюджет затрат ФТИ	179544,61	Сумма ст. 1- 6

ГЛАВА 5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Введение

Целью настоящей работы является исследование эволюции рельефа фольг монокристалла алюминия при продольном растяжении. Работа проводилась в лабораториях Томского Политехнического университета. В ходе работы использовалось такое оборудование как атомно-силовой микроскоп, растровый микроскоп, генератор, осциллограф и т. д.

5.1. Техногенная безопасность

В ходе выполнения научно-исследовательской работы при проведении различных физических опытов возникала необходимость применять электрооборудование, оборудование, работающее с повышенным уровнем шума. В связи с этим необходима оценка факторов труда, с которыми связано выполнение данной исследовательской работы. Этому посвящен настоящий раздел.

Мероприятия, которые проводились для предотвращения несчастных случаев.

1. проведение инструктажа: по правилам безопасного поведения в лаборатории; по правилам безопасного обращения с химическими реактивами, химическим оборудованием; по правилам пожарной безопасности; по правилам поведения при возникновении несчастных случаев;
2. периодическая проверка персонала на знание правил безопасности.

5.1.1 Анализ вредных факторов производственной среды

Вредные вещества

В качестве основного материала используется алюминий. Применяется алюминий, как в быту, так и в производстве.

Не соблюдение техники безопасности приводит к тяжелым отравлениям алюминием стали наблюдаться у рабочих при его широком применении в самолетостроении, – из-за вдыхания алюминиевой пыли. Профессиональное заболевание носит название алюминоза легких и сопровождается сморщиванием легких (то есть постепенным замещением легочной ткани фиброзной), атеросклерозом (особенно сосудов бронхов), потерей аппетита, кашлем, иногда болями в желудке, тошнотой, запорами, «рвущими» болями во всем теле, дерматитами и изменением крови – увеличением количества лимфоцитов и эозинофилов. Болезнь Альцгеймера (провалы в памяти и маразм при повышенной концентрации алюминия в мозге) – «привилегия» цивилизованных стран. В США алюминий вверг в безумие три миллиона человек, среди них самый известный – бывший президент Рональд Рейган. Отечественной статистики нет, но если учесть, что Россия – крупнейший производитель алюминия, то вряд ли у нас таких пациентов меньше, чем в Америке. Вода из-под крана, прежде чем попасть в наш дом, проходит техническую очистку от примесей с помощью сульфата алюминия. Примеси коагулируются, а алюминий остается, и никаким кипячением его не выведешь (слабая надежда – только на домашний фильтр). Через кожу алюминий усваивается даже больше алюминия, чем через рот. В современных дезодорантах – антиперспирантах (которые рекламируются как действующие 24 часа) содержится до 25% хлоргидратов и хлоридов алюминия. Кстати, именно за счет алюминия они и действуют, так как именно он вызывает в отдельно взятых подмышках «маленькую

алюминиевую болезнь, один из симптомов которой – сухость кожи и отсутствие пота.

Гидроксиды алюминия являются составляющей основных вакцин. Группа западных ученых доказала, что после них сильно снижается иммунитет, а у детей может развиваться аллергия буквально на все. Хуже всего выводится алюминий из организма людей, имеющих проблемы с кишечником и почками. Однако именно их терапевты активно кормят алюминием – он содержится практически во всех кислот понижающих препаратах, которые рекламируются «от боли в желудке для всей семьи».

Алюминий - может стать причиной стариковского скудоумия, повышенного возбуждаемости, вызвать нарушение реакций у детей, анемию, головную боль, заболевание почек, печени, колит, неврологические изменения, болезнь Паркинсона. Алюминий содержится в некоторой кухонной посуде, фольге, в которую завертывают пищевые продукты, дезодорантах, воде из крана.

Недостаток освещенности

На рабочем месте должен соблюдаться определенный уровень освещенности, соответствующий нормам [52].

Освещенность рабочих мест в лаборатории, в которых эксплуатируются рабочие установки и техническое оборудование, составляет 300 – 500 лк, для персонала – 750 лк [51].

Недостатками освещения влияет на зрительную работоспособность, что приводит к ухудшению качества работ. Недостаток освещения влияет на психику человека, ухудшает настроение и вызывает быструю усталость организма.

Расчет искусственного помещения производиться выполняется методом коэффициента светового потока. Длина помещения $A = 6$ м, ширина $B = 6$ м,

высота = 3 м. Рабочая поверхность расположена на высоте $h_p = 1,0$ м над уровнем пола. Уровень освещения должен быть 300 лк.

Площадь помещения:

$$S = A \times B, \quad (5.1)$$

где A – длина, м;

B – ширина, м.

$$S = 6 \times 7 = 42 \text{ м}^2$$

Коэффициент запаса $K_z = 1,5$. Коэффициент неравномерности освещения $Z = 1,1$. Коэффициент отражения свежепобеленных стен с окнами, без штор $\rho_c = 50\%$, свежепобеленного потолка $\rho_{II} = 70\%$.

В качестве светильника была выбрана лампа дневного света ЛД-50, световой поток которой равен $\Phi_{ЛД} = 10000$ Лм. Светильник имеет две лампы мощностью 50 Вт. Длина светильника равна 1250 мм, ширина – 255 мм.

Интегральным критерием оптимальности расположения светильников для люминесцентных ламп принимается величина λ , которая измеряется в диапазоне 1,1 – 1,5. Принимаем $\lambda = 1,5$, расстояние до перекрытия $h_c = 2,8$ м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = H - h_p - h_c = 3 - 1 - 0,5 = 1,5 \text{ м.}$$

где H – общая высота

h_n – высота светильника над полом, высота подвеса,

h_p – высота рабочей поверхности над полом.

Расстояние между соседними светильниками или рядами определяется по формуле:

$$L = \lambda \cdot h = 1,5 \cdot 2 = 3 \text{ м}$$

Число светильников в ряду:

$$Na = \frac{A}{L} = \frac{7}{3} = 2$$

Число рядов светильников в помещении:

$$Nb = \frac{B}{L} = \frac{6}{3} = 2$$

Общее число светильников:

$$N = Na \cdot Nb = 2 \cdot 2 = 4$$

Размещаем светильники в два ряда. На рисунке 5.1 изображен план помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.

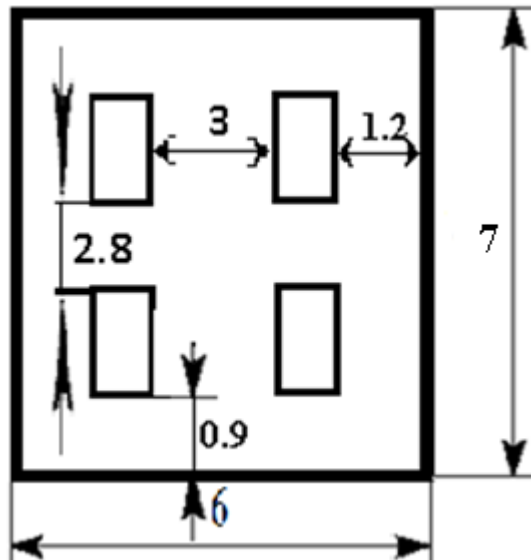


Рисунок 5. 1 – План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.

Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} = \frac{6 \cdot 7}{1,5 \cdot (6 + 7)} = 2,1$$

Коэффициент использования светового потока при индексе помещения равного $i = 2$, $\eta = 0,8$.

Потребный световой поток люминесцентной лампы определяется по формуле:

$$\Phi_n = \frac{E \cdot A \cdot B \cdot K_3 \cdot Z}{N \cdot \eta} = \frac{150 \cdot 6 \cdot 7 \cdot 1,5 \cdot 1,5}{2 \cdot 0,8} = 8860_{\text{лм}}$$

Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{ЛД}} - \Phi_{\text{П}}}{\Phi_{\text{ЛД}}} \cdot 100\% \leq 20\%;$$

$$\frac{\Phi_{ЛД} - \Phi_{П}}{\Phi_{ЛД}} \cdot 100\% = \frac{10000 - 8860}{10000} \cdot 100\% = 11.4\%.$$

Таким образом: $-10\% \leq -11.4\% \leq 20\%$, необходимый световой поток.

Повышенный уровень шума и вибрации

Шум и вибрация, очень вредные факторы для работы человека. Шум может оказывать следующие вредные факторы головные боли, раздражительность, головокружения, повышенная утомляемость, боли в ушах, понижение аппетита. Долга работа со звуком изменяет эмоциональное состояние человека и приводит к сильному стрессу. При работе со звуком выше 80 дБ может вызвать частичную и полную потерю слуха.

Для соблюдения норм на рабочем месте должны соблюдаться уровень шума не должен превышать 65 дБ. Для снижения вибрации на установках должны быть установлены виброизоляторы.

Расчет уровня шума.

Шум является неблагоприятным фактором для производственной деятельности человека. Для уменьшения шума надо знать значения уровня шума в помещении.

Уровень шума от нескольких источников можно посчитать как сумма отдельных источников.

$$L = 10 \ln \sum_{i=1}^{i=n} 10^{0,1L} \quad (5.2)$$

где L_i – уровень звукового давления i -го источника шума;

n – количество источников шума.

Уровни шума, которые действуют на рабочего предприятия можно найти в таблице.

Таблица 5.1 уровни звукового давления разных источников

Источник шума	Уровень шума, дБ
Генератор	40
Блок питания	45
Осциллограф	17

Из формулы найдем уровень шума.

$$L = 10\ln(10^4 + 10^{4,5} + 10^{1,7}) = 40 \text{ дБ}$$

Полученное значение не превышает допустимый уровень шума в 65 дБ[50].

По этой причине можно признать установку безопасной для работы человека.

Неблагоприятный микроклимат помещений

Основными параметрами микроклимата являются: температура влажность, скорость движения воздуха, они должны соответствовать требованиям[39, 40,41, 42]. Рабочая зона должна быть ограничена высотой 2 м.

Температура воздуха должна соответствовать требованиям: оптимальная – 21-23°C, допустимая – 20-24 °C (для холодного периода года); оптимальная – 22-24°C, допустимая – 21-28°C (для теплого периода года). Влажность для работы в лаборатории должно составлять: оптимальная – 40-60%, допустимая – 20-80%. Скорость движения воздуха работы в лаборатории составляет: оптимальная – 0,1 м/с, допустимая – 0,2 м/с[55].

Неблагоприятные микроклиматические условия приводят к снижению производительности человека на рабочем месте, и стать причиной таких заболеваний как радикулит, различные формы простуды, тонзиллит, хронический бронхитидр.

Параметры микроклимата рабочих мест лабораторий ТПУ соответствуют нормативным документам в тепловой и холодный период года.

В помещении находится вентиляция приточно-выходной системой и система отопления с естественной циркуляцией.

5.1.2 Анализ опасных факторов производственной среды

Электробезопасность

Электробезопасность в лабораторных и производственных помещениях обеспечивается: конструкцией электроустановок, средствами защиты различными техническими способами, проведением организационных и технических мероприятий[45, 46, 47].

Для целей обеспечения электробезопасности в лабораториях ЦВТ применяют технические способы и средства защиты как отдельно, так и в сочетании: зануление, выравнивание потенциалов, защитное заземление, защитное отключение, изоляцию токоведущих частей, малое напряжение, оградительные устройства, блокировку, предупредительную сигнализацию, знаки безопасности; предупредительные плакаты; электрозащитные средства, в соответствии с [48].

Электроустановки классифицируют по напряжению: с номинальным напряжением до 1000 В (помещения без повышенной опасности), до 1000 В с присутствием агрессивной среды (помещения с повышенной опасностью) и свыше 1000 В (помещения особо опасные).

Основными электрозащитными средствами в электроустановках напряжением выше 1000 В являются изолирующие штанги, изолирующие и электроизмерительные клещи, указатели напряжения, а также изолирующие устройства и приспособления для ремонтных работ.

К дополнительным изолирующим электрозащитным средствам относятся диэлектрические перчатки, боты, резиновые коврики и дорожки, изолирующие подставки на фарфоровых изоляторах и переносные заземления.

Пожарная безопасность

В лабораториях используется большое количество электрического оборудования. Некоторая часть имеет оголенные провода, т.к находится в процессе разработки. В связи с этим лаборатории – это места повышенной пожароопасности. Лабораторные помещения согласно ст. 27 п. 5 отнесены к категории Б – «Повышенная пожароопасность»[43].

В лабораториях ТПУ, где производились исследования, представленные в данной работе, предприятие имеет все необходимые противопожарные меры согласно нормативным документам. В лабораториях организован свободный проход между лабораторными столами.[44].

Лаборатории оснащены противопожарным оборудованием:

- 1) Огнетушитель типа ОУ-2 (углекислотный, газовый) для тушения всех видов горючих веществ и электроустановок;
- 2) Асбестовое одеяло, которое используется для тушения одежды, обесточенных электропроводов;
- 3) Ящик с песком для тушения огня на горизонтальной поверхности.

В лабораториях установлена система обнаружения пожаров и сигнализация, разработан план эвакуации (рисунок 5.2).

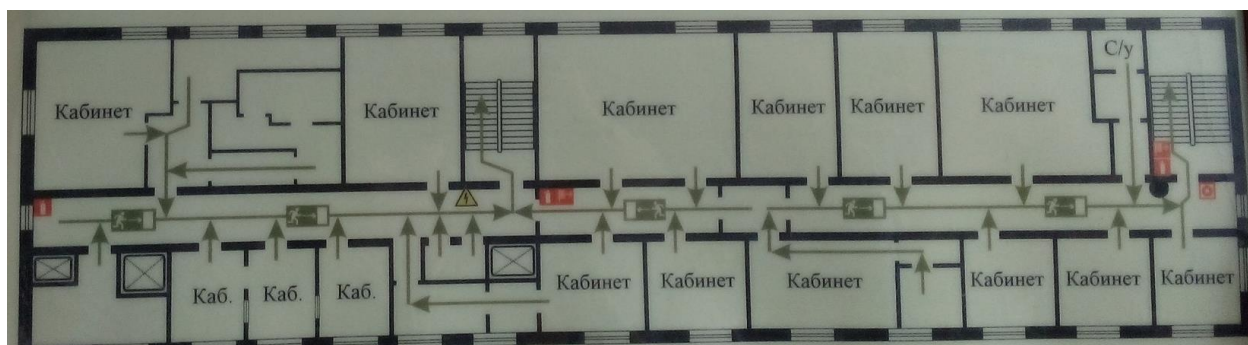


Рисунок 5.2 – План эвакуации из лабораторных помещений ЦВТ

Таким образом, лаборатория соответствует всем требованиям пожарной безопасности.

5.2 Охрана окружающей среды

Охрана окружающей среды – это комплекс мер представляет собой мероприятия по уменьшению отрицательного влияния человека на окружающую среду.

В лаборатории существуют твердые отходы в виде бытового мусора, который выбрасывается в урну. Так же в лаборатории установлен вытяжной шкаф для работы с вредными и токсичными веществами.

Так же необходимо позаботиться о раздельных контейнерах для отходов бытового характера: отдельные мусорные баки для бумаги, стекла, металлических частей, пластика. Отходы с вытяжного стола должны быть запечатаны в специальный герметичный контейнер и передан людям занимающихся утилизацией вредных и токсичных отходов.

5.3 Организационные мероприятия обеспечения безопасности

Меры, предупреждающие аварийные ситуации, по обеспечению безопасного протекания технологических процессов должны осуществляться в соответствии с ГОСТ 12.3.002–75 [49] и СП 2.2.2.1327-03 [50].

Для защиты от воздействия вредных и опасных производственных факторов персонал должен пользоваться индивидуальными средствами защиты, которыми должен обеспечивать работодатель.

Лабораторные и производственные помещения должны быть оснащены средствами первой медицинской помощи. Служащие, деятельность которых связана с опасными и вредными условиями труда, в обязательном порядке должны периодически проходить медицинский осмотр. Проектирование и модернизация рабочих помещений осуществляется в соответствии с общими эргономическими требованиями выполнения работ [51, 52].

Каждому работнику лаборатории выдаются средства индивидуальной защиты и смывающие вещества в соответствии с нормами выдачи на 1 работника в месяц [47, 48]. Для исключения возможности несчастных случаев должны проводиться обучение, инструктажи и проверка знаний работников требований безопасности труда [49].

5.4 Особенности законодательного регулирования проектных решений

В целях сохранения и повышения работоспособности, ускорения адаптации к действию неблагоприятных условий труда, профилактики заболеваний, работающим в контакте с химическими веществами следует два раза в год проводить витаминизацию.

Государственный надзор осуществляется «Федеральной инспекцией по труду и занятости», а ведомственный контроль осуществляет «Отдел по охране труда»

5.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Одним из важнейших факторов в безопасности жизнедеятельности людей является подготовленность к чрезвычайным ситуациям.

Мероприятия, проводимые во время ЧС, представляют собой проведение спасательных работ, неотложных аварийно-восстановительных работ в месте ЧС. Данные мероприятия должны проводиться в соответствии с техническим регламентом [50, 51], где прописаны положения комплекса государственных стандартов по предупреждению и ликвидации ЧС.

5.5.1 ЧС природного характера

Производство находится в городе Томске с континентально-циклоническим климатом. Природные явления (землетрясения, наводнения, ураганы и т. д.), в данном городе отсутствуют.

Возможными ЧС на объекте в данном случае, могут быть сильные перепады температуры от – 40 до 36 °С.

Для Сибири в зимнее время года характерны морозы. Достижение критически низких температур приведет к авариям систем теплоснабжения и жизнеобеспечения, приостановке работы, обморожениям и даже жертвам среди населения. В случае переморозки труб должны быть предусмотрены запасные обогреватели. Их количества и мощности должно хватать для того, чтобы работа на производстве не прекратилась. В летнее время может длительное время стоять жара. Высокие температуры приводят к быстрой утомляемости, обморокам и тепловой удар. Для защиты от высокой температуры должны быть установлены кондиционеры, вентиляторы и вентиляция.

5.5.2 ЧС техногенного характера

В лаборатории аварийной ситуацией может быть пролив токсичных легко летучих горючих веществ. Ликвидацию подобных аварийных ситуаций проводят согласно техническому регламенту [50, 51], с применением противогазов определенных марок во избежание отравлений.

Для Томской области характерны следующие стихийные бедствия:

- 1)наводнения;
- 2)провалы грунта;
- 3)снежные заносы.

Во время военных конфликтов приводятся в боевую готовность формирования гражданской обороны. При угрозе нападения по радиотрансляционной сети передают сигналы «Воздушная тревога», «Отбой воздушной тревоги», «Радиационная опасность» и «Химическая тревога».

Для предупреждения вероятности осуществления диверсии предприятие необходимо оборудовать системой видеонаблюдения, круглосуточной охраной, пропускной системой, надежной системой связи, а также исключения распространения информации о системе охраны объекта, расположении помещений и оборудования в помещениях, системах охраны, сигнализаторах, их местах установки и количестве.

Графические материалы

- 1) Освещенность на рабочем месте
- 2) Пути эвакуации

Заключение

1. Разработана электромагнитная система для циклического растяжения образцов путем знакопеременного изгиба с амплитудой $A = \pm 3$ мм при изменении частоты колебаний в диапазоне 120-180 Гц.
2. Циклическое растяжение образцов дуралюмина с наклеенными фольгами монокристалла алюминия кубической ориентации показали, что при частоте колебаний $f=100$ гц наблюдается уменьшение ширины и периода продольных макроскопических полос и небольшой рост периода твидовой структуры $T=3,4$ мкм.
3. Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что период твидовой структуры определяется фундаментальными характеристиками монокристалла алюминия (такими, как модули упругости, коэффициент Пуассона, поверхностные напряжения, а также энергией образования и миграции точечных дефектов.
4. В качестве выводов к экономическому разделу можно привести затраты ФТИ 179544,61 р. Стоимость создания дюраль алюминия составила 82,27 рублей по этому разделу дипломного проекту было потрачено 150 дней Затраты на обслуживание оборудования составили 120000 р. Зарплата сотрудников составляла 28000 рублей.
5. Резюмируя вышеизложенное можно сделать вывод, что сотрудники лаборатории соблюдают условия охраны труда. Общая характеристика и анализ условий труда на анализируемом предприятии, а именно: пожарная безопасность, освещенность, вентиляция и водоснабжение, санитарно-бытовые условия соблюдаются согласно ГОСТам, СНиПам, федерального, регионального и иного законодательства.

Список литературы

Литература:

1. Кузнецов П.В., Панин В.Е., Петракова И.В. О роли неустойчивости Гринфелда при формировании твидовой структуры на поверхности кристаллов алюминия при циклическом растяжении// Физическая мезомеханика. – 2010. – Т. 13. – № 1. – С. 11–21.
2. Кузнецов П. В. , Тюрин Ю. И. , Чернов И. П. , Сигфуссон Т. И. Неустойчивость Гринфелда как механизм образования самоподобных структур на фольгах монокристалла алюминия при циклическом растяжении// Физика твердого тела. - 2012 - Т. 54, Вып. 12 , С. 2302-2309.
3. Гринфельд М.А. Неустойчивость границы раздела между негидростатически напряженным упругим телом и расплавом// ДАН СССР. - 1986. – Т. 290. - С. 1358.
4. Кристаллическая решетка – алюминий. [Электр. ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ngpedia.ru/id401866p1.html>
5. Алюминий - общая характеристика элемента, химические свойства. [Электр. ресурс]. – Режим доступа: <http://himege.ru/alyuminij-xarakteristika-elementa>
6. Неразрушающий контроль: Справочник: В 7 т. Под общ. ред. В.В. Клюева. Т.3: Ультразвуковой контроль / И.Н. Ермолов, Ю.В. Ланге. – М.: Машиностроение, 2004. 864 с.
7. Барышев И.В., Киреев В.А. Системы управления. – Учеб. пособие. – Харьков: Нац. аэрокосмический ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2001. – 141 с.
8. Микроструктура материалов. Методы исследования и контроля. Автор: Д. Брандон, У. Каплан, год издательства: 2004, 384стр.
9. Аксенович Л. А. Физика в средней школе: Теория. Задания. Тесты: Учеб. пособие для учреждений, обеспечивающих получение общ. сред. образования / Л. А. Аксенович, Н.Н.Ракина, К. С. Фарино; Под ред. К. С. Фарино. — Мн.: Адукацыя і выхаванне, 2004. — С. 188-191.

10. Вахромеев, А.М. Машины для испытаний на усталость / А.М. Вахромеев. – М.: МАДИ, 2006.
11. Бураго Н.Г., Журавлев А.Б., Никитин И.С. Модели многоосного усталостного разрушения и оценка долговечности элементов конструкций. // Изв. РАН. МТТ. 2011. № 6. С. 22–33. 3. Шанявский А.А.
12. Моделирование усталостных разрушений металлов. Уфа. Изд-во научно-технической литературы «Монография». 2007. 498 с.8) Панин В.Е., Егорушкин В.Е., Панин А.В. // Физ. мезомех. 2006. Т. 9. № 3. С. 9–22
13. Bathias C., Paris P.C. Gigacycle fatigue in mechanical practice. Marcel Dekker. New York. 2005. 304 p
14. Р. Хейденрайх Основы просвечивающей электронной микроскопии, Москва, Мир, 2002, с.472.
15. Миронов В.Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии. 2004. Мир.
16. Рашкович Л.Н. Атомно-силовая микроскопия процессов кристаллизации в растворе // Соросовский образовательный журнал, 2001, №10, с. 102-108.
17. Кузнецов П.В., Оксогоев А.А., Петракова И.В. Фрактальный анализ рельефа поверхности алюминиевого сплава при активном растяжении и его усталостная прочность // Физическая мезомеханика. - 2004. - Т.7. Спец.выпуск. - Ч. 1. - С.393-396.
18. Кузнецов П.В., Петракова И.В., Гордиенко Ю.Г., Засимчук Е.Э., Карбовский В.А. Образование самоподобных структур на фольгах монокристалла алюминия $\{100\} \langle 001 \rangle$ при циклическом растяжении // Физ. мехомех. - 2007. - Т. 10. - В.6. - С.33-42.
19. Sayles R.S. and Thomas T.R. The spatial representational of surface roughness by means of the structure function: A practical alternative to correlation // Wear. - V. 42. - Iss.2. - 1977. - P.263-276.
20. Neimark O.B. Defect induced transitions as mechanisms of plasticity and ailure in multifold continua // Advances in Multifold Theories of Continua with Substructure / Ed. G. Capriz, P. Mariano. - Boston: Birkhauser, 2004. - P. 75-114.

21. Hansen N., Hughes D.A. Analysis of large dislocation populations in deformed metals // Phys. Stat. Sol. (b). - 1995. - 149. - P. 155-171.
22. Hughes D.A., Nix W.D. Strain hardening and substructural evolution in Ni- Co solid solutions at large strains // Materials Science Engineering. A. - 1989.-V. 122,N2.-P. 153-172.
- 23.Моисеенко Д.Д., Максимов П.В., Соловьев И.А. Стохастический подход к многоуровневому моделированию возмущений на границе раздела нагруженном твердом теле // Физическая мезомеханика. - 2004. - Т.7. - №4. - С. 19-24.
- 24.Kinge, S. Self-Assembling Nanoparticles at Surfaces and Interfaces/ S. Kinge, M. Crego-Calama, D. N. Reinhoudt// Chemphyschem–2008.–V. 9.–Is.1.–P. 20-42
25. Yang X. Nonlinear evolution equation for the stress-driven morphological instability //1. Appl. Phys. - 2002. - V.91.-No.11.-P. 9414-9422.
26. Tanaka H., Sigehuzi T. Surface-pattern evolution in a swelling gel under a geometrical constraint: Direct observation of fold structure and its coarsening dynamics // Phys. Rev. E. -1994. -V. 49. - No. 1. - P. R39-R42.
27. Поверхностные слои и внутренние границы раздела в гетерогенных материалах // Под ред. В.Е. Панина. - Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2006. - 519
28. Гордиенко Ю.Г., Гонтарева Р.Г., Засимчук Е.Э., Засимчук И.К. Фрактальные свойства поверхностного рельефа монокристаллов алюминия при их совместном нагружении с образцами из сложнолегированных сплавов // Металлофиз. новейшие технол. - 2002. - Т. 24.-№11.-С. 1561-1571.
29. Волынский А.В., Бакеев Н.Ф. Структурная самоорганизация аморфных полимеров. Москва, Физматлит, 2005. - 232 с.
30. Иванова В.С., Баланкин А.С., Бунин И.Ж., Оксогоев А.А. Синергетика и фракталы в материаловедении. - М.: Наука, 1994. — 383 с.
31. Sprusil B., Hnilica F. Fractal character of slip lines of Cd single Crystals // Czech. J. Phys. 1985. - 35. - P. 897.

32. Kleiser T. and Bocek M. The fractal Nature of slip in crystals // Z.Metallkde. - 1986. - Bd. 77. - Н. 9. - P. 582-587.
33. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике. - 10-е изд., доп. - М.: Наука. Гл. ред. Физ.-мат. Лит., 1987. - 432 с.
34. Кузнецов П.В., Деревягина Л.С, Петракова И.В. Образование твидовой структуры на фольгах поликристаллического алюминия при несвободном циклическом растяжении // Тезисы докладов Международной конференции по физической мезо механике, компьютерному конструированию и разработке новых материалов, 7- 11 сентября 2009 г., Томск, Россия. - Томск: ИФПМ СО РАН, 2009. - С. 68-70.
35. Суворов А. Л. Микроскопия в науке и технике // Отв. ред. д-р физ.-мат. наук В. Н. Рожанский; Академия наук СССР. — М.: Наука, 1981. — 136, с.
36. Орлов Л.Г. О зарождении дислокаций на внешних и внутренних поверхностях кристаллов // ФТТ. - 1964. - Т.9. - В. 8. - С. 2345-2349.
37. Барыкина Р. П. и др. Справочник по ботанической микротехнике. Основы и методы. // М.: Изд-во МГУ, 2004. — 312 с.
38. Новиков Н.Н. Напряжение пластического течения и плотность дислокаций в хлористом натрии и хлористом калии // Изв. вузов. Физика.- 2002.-№6.- С. 108-113.
39. Алехин В.П. Физика прочности и пластичности поверхностных слоев материалов. // М.: Наука, 1983. - 280 с.
40. Самойлович В.Г., Телушкина Е.К. Экономика предприятия. // М.: Академия, 2009. — 224 с.
41. Сергеев И.В., Веретенникова И.И. Экономика организации (предприятия). // М.: Юрайт, 2013. - 672 с.
42. Чечевицына Л.Н., Чечевицына Е.В. Экономика предприятия. // Ростов-на-Дону: Феникс, 2012. — 384 с.
43. Николаева И.П. Экономическая теория. // М.: Дашков и Ко, 2012. — 328 с.
44. Носова С.С. Экономическая теория. // М.: Кнорус, 2011. — 792 с.

45. Тарануха Ю.В. Микроэкономика. // М.: Дело и сервис, 2009. – 608 с.
46. Экономическая теория// Под ред. В.Д. Камаева.– М.: Владос, 2010.– 592 с.
47. Авдокушин Е.Ф. Международные экономические отношения: Учебник. - М.: Юрист, 2001. – 304 с.
48. Куренков Ю., Попов В. Конкурентоспособность России в мировой экономике. // Вопросы экономики, 2008. – № 6. – С. 36-49.
49. Алтунин А.Т., Гражданская оборона: учебное пособие // Под. ред. А.Т. Алтунина. - М.: 2009.
50. Артюнина Г.П., Игнаткова С.А. Основы медицинских знаний: Здоровье, болезнь и образ жизни.//М.: Изд-во «Академический проспект», 2009. – 560 с.
51. Арустамов Э.А., Безопасность жизнедеятельности // Э.А. Арустамов. - М.: Изд.центр Акад., 2008.
52. Бароненко В.А., Рапопорт Л.А. Здоровье и физическая культура студента // В.А. Бароненко, Л.А. Рапопорт. – М.: Альфа – М, 2007.
53. Безопасность жизнедеятельности: Учебник для вузов (под ред. Арустамова Э.А.) // Изд.12-е, перераб., доп. – М.: Дашков и К, 2007.- 420 с.

Приложение А

Раздел 1 Литературный обзор

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0621	Петров Александр Сергеевич		

Консультант кафедры ОФ

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кузнецов П.В.	к. Ф.-м. Н		

Консультант – лингвист кафедры ИЯФТ

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Данейкина Н. В.			

1. LITERATURE REVIEW

1.1. Aluminium and its alloys

Aluminum (Al), a chemical element of group III of the periodic system of the third period, atomic number 13, atomic weight 26.98154. In nature, one stable isotope ^{27}Al . P-aluminum element. At the outer energy level of the aluminum atom contains 3 electrons. Aluminum has an oxidation state 3 [2].

It belongs to the group of light metals. The aluminum content in the crust of 8.8% by weight. In terms of natural ranks fourth among all elements (after O, H and Si) and the first among the metals; in free form does not occur.

A simple substance of aluminum - lightweight, is paramagnetic silver-white color, you can easily change shape, casting, machining. Aluminium has a high thermal conductivity and electrical conductivity, it is very resistant to corrosion by the rapid formation of a strong oxide film protecting the surface from further interaction [4].

The crystal lattice - an auxiliary geometric image input to analyze the structure of the crystal. The grille is similar to the canvas or mesh, which gives reason to call the point of lattice sites.

Each crystal lattice structure corresponds to two: direct crystal lattice and the reciprocal lattice.

Direct crystal lattice - a grill in a normal, real space. Pryamayakristallicheskaya aluminum grille - face-centered cubic, which is stable at a temperature of 4 K to the melting point. lattice parameters: 4,050 Å [2].

Contact crystal lattice - grid in Fourier space. Contact to the face-centered cubic lattice has a volume-centered lattice. Lattice parameters: 1,95 Å.

Table 1 - Comparative properties of aluminum and alumina micro micro- and nano-structures.

	Microstructure of aluminum (Al)	microstructure alumina (Al_2O_3)	Nanostructure aluminum dioxide (Al_2O_3) (nanopowder)
The density of aluminum	$\rho=2,7 \text{ g/cm}^3$	$\rho=3,99 \text{ g/cm}^3$	$\rho=1,2 \text{ g/cm}^3$ (at a rate of $\sim 70\text{nm}$)
Melting temperature	658-660 °C	2044 °C	2000 °C (at a rate of $\sim 54\text{nm}$)
Colour	Silver and white	White	White

Table 1 shows properties of aluminum and aluminum dioxide microstructure in the microstructure and nanostructure (according to the literature [3,5]). In some cases, a significant difference is noticeable. For example, aluminum dioxide density in the nanostructure density less in the microstructure $2,79 \text{ g/cm}^3$. We also see a marginal difference in the melting temperature.

To determine the contribution to the change in the properties of size effects is necessary to calculate the de Broglie wavelength or the mean free path and compare the value obtained with the size of the aluminum nanoparticles.

$$\lambda = \frac{h}{mv} \quad (1.1)$$

where $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ - Planck's constant, $m = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ - the mass of the electron, $v = 106 \text{ m/s}$ - velocity of the electron.

As a result of calculation it turns out that $\lambda = 0,7$ nm, since this value is much smaller than the size of the nanoparticles, the main influence on the change in the properties of aluminum dioxide nanostructures have a classical size effects. One of the reasons of size effects is the high proportion of surface atoms that occurs as a result of unsaturated atomic bonds at the surface, the surface of the lattice distortion, subtle physical effects of electron interaction with the free surface.

Always under normal conditions, a thin aluminum oxide layer and durable because it will not react with oxidants classic: such as H_2O (t °), O_2 , HNO_3 (without heating). Due to these properties, aluminum is almost not subject to corrosion and is widely in demand because of modern industry. Cases of destruction of the oxide film, aluminum and its compounds can act as active metal-reducing agent. At the same time prevent the formation of an oxide film can be, but it does add to aluminum metals such as gallium, indium or tin. When this occurs on the aluminum surface wetting fusible eutectics based on these metals [3].

The crystal lattice - an auxiliary geometric image input to analyze the structure of the crystal. The grille is similar to the canvas or mesh, which gives reason to call the point of lattice sites.

Each crystal lattice structure corresponds to two: direct crystal lattice and the reciprocal lattice.

Direct crystal lattice - a grill in a normal, real space. Direct crystal lattice of aluminum - face-centered cubic, which is stable at a temperature of 4 K to the melting point. lattice parameters: 4,050 Å [3].

Duralumin - collective designation of the group of high-strength aluminum-based alloys with additions of copper, magnesium and manganese. The name is derived from the trade mark - commercial name of one of the first hardened by heat treatment and subsequent aging of aluminum alloys. The main alloying elements in it were copper (4.5% weight), magnesium (1.5%) and manganese (0.5%), the rest - aluminum (93.5%). Typical yield strength duralumin is about 250

MPa Tensile strength - 400 ... 500 MPa, but the characteristics of the particular alloy depends on the composition and - in particular - thermal treatment[4].

Features and applications

Duralumin - the basic material used in aviation and aerospace, as well as in other technical fields such as mechanical engineering with high demands on the weight returns.

The first application of duralumin - was in the manufacture of the frame airships in 1911, after they are actively used. The composition of the alloy and heat treatment in the years differed from the present time. World War I metal creation was classified. Due to its characteristics: high specific strength duralumin since the 1920s, becoming the most important structural materials in aircraft.

Alloy Density 2500-2800 kg / m³, melting point about 650 ° C[5]. The alloy is widely used in the aircraft industry, in the production of high-speed trains (such as Shinkansen trains) and in many other fields of engineering (because differ substantially greater hardness than pure aluminum).

After annealing (heating to a temperature of about 500 ° C and cooling), it becomes soft and flexible (such as aluminum). After aging (natural - at + 20 ° C - a few days, the artificial - at elevated temperatures - a few hours) becomes firm and hard[5].

At present, alloys of aluminum - copper - magnesium with manganese additives - collectively known as duralumin. These include the Soviet alloys of the following brands: D1, D16, D18, B65, D19, B17, VAD1. Duralumin hardening heat treatment; exposed, as a rule, hardened and natural or artificial aging. Characterized by a combination of high static strength (up to 450-500 MPa) at ambient or elevated (up to 150 ... 175 ° C) temperatures, high fatigue strength and fracture toughness[6].

The lack of duralumin - low corrosion resistance, products require careful protection against corrosion. Duralumin sheets, usually clad with pure aluminum,

creating from negoalkled. Also, as a rule, all the details of the aircraft used in the construction of aluminum alloys are covered with specially designed for aviation primers (usually yellow or green colors) and, if necessary, be painted.

1.2. Types of deformation of solids

Warp - a change in the position of the body of the particles associated with their movement. The deformation may be a result of changes in the distance interatomic distances of atoms and groups of blocks. The most common deformity is accompanied by a change in some values of interatomic forces, which are called elastic stress [7].

Elongation - Compressive deformation during compression and extension of the plate retain the position parallel to each other and the distance between the two plates are changed to the same value. Stretching test samples when they were external voltages are applied. Subjected to compression with pressure on the sample.

Shear strain can be obtained by displacing a plate parallel to itself and keeping the other stationary. From this it follows that all the plates are displaced so that the distance therebetween will remain constant. Shear deformation is accompanied by a process of cutting material.

Torsional strain can be found by turning a sample of the top plate around the vertical axis. The distances between the plates remains constant, but the points of the plates which were previously on the same line may move away from each other. Torsional strain can occur when drilling metals.

Bending deformation can be observed, if the fix one end of the beam, and the second hanging load. In the example of the model it can be clearly seen that the bending deformation can be reduced to compressive and tensile strain, but different in different parts of the body. And only in the middle of the bar there is a layer which is not subjected to tension or compression. It is called the neutral layer.

When deformation of the metal are two types of deformation of the elastic deformation and plastic deformation.

The elastic deformation property of the body to restore its initial state after the application of load.

Plastic deformation of the preservation status after the shape and size after removal of the load.

Called low-cycle fatigue failure after repeated elastic-plastic deformations. Typically, low-cycle fatigue fracture occurs when the number of load cycles of repetition $N < 10^5$ [8].

Low Cycle Fatigue has much in common with the usual fatigue. As with a conventional (high-cycle) fatigue, destruction begins in places of stress concentration as a result of the initially formed cracks. However, the mechanism of low-cycle of destruction can significantly differ from fatigue failure mechanism. Destruction of low cycle fatigue properties depending on the material and loading conditions can be of three types: a quasi-static, fatigue and mixed [7]. Quasi-static breakdown of the sample is characterized by the accumulation of plastic strain, equal to about 0.9 times the plastic deformation under static fracture. Fatigue failure occurs without appreciable plastic deformation of not more than 0.1 times the static [9]. Mixed failure occurs in the range of 0.1 to 0.9. The range of quasi-static low-cycle of destruction in the number of cycles depends on the type and condition of the material and reaches from 1 to 10^3 cycles. Mixed - in the range from 10^3 to 10^5 [10].

1.3. Physical bases and laws of propagation of sound waves in metals

The propagation of sound - is the process of moving in space and time the perturbations that should be in a sound wave. The sound wave propagates in the medium, may be in gaseous, liquid or solid state, always have to have the same direction, which should be offset free particles of the substance, that is, there is deformation of the medium. Deformation is that there is a consecutive vacuum and compression of certain volumes of the medium, the distance between two adjacent regions corresponding to the length of the ultrasonic wave. The larger the specific acoustic impedance of the medium, the greater the degree of compression and decompression of the medium at a given amplitude of oscillation. The particles of the medium involved in the transmission of wave energy, fluctuate around its equilibrium position. Speed fluctuations particles near the middle of the equilibrium position is called vibrational rate. The amplitude, in turn, characterized by vibrational and speed is the maximum speed at which the particles can travel environment during oscillation, and to determine the oscillation frequency and amplitude of the displacement medium particles [11].

In some environments, in which there is a distribution of ultrasound, will have a viscosity and thermal conductivity, or it may occur other processes of internal friction, then the propagation of wave is the sound absorption, i.e. the distance from the source the amplitude of the ultrasonic vibration becomes smaller, as well as the energy that they carry. The environment in which applies ultrasound interacts with the energy passing through it and absorbs part of it [12]. The majority of the absorbed energy is converted into heat, the smaller part is in the transmitting material irreversible structural changes. The absorbance is a result of the friction of the particles against each other, it is different in different environments. Absorption is also dependent on the frequency of ultrasonic vibration. Theoretically, the absorption is proportional to square of the frequency. The magnitude of the absorption can be characterized by an absorption coefficient that shows how the ultrasound intensity in the irradiated medium. With increasing

frequency it increases. The intensity of the ultrasonic waves in the medium decreases exponentially. This process is caused by internal friction, thermal conductivity of the absorbing medium and its structure. Its estimated value is characterized by the *polupogloschayuschego* layer that shows the depth at which the intensity of the vibrations is reduced by half (or more precisely in times 2,718 or 37%). The depth of penetration of the ultrasonic waves by the depth of penetration of ultrasound understand the depth at which the intensity is reduced by half. This value is inversely proportional to absorption: the stronger the medium absorbs ultrasound, the smaller the distance at which the ultrasound intensity is reduced by half. [13]

If the medium contains inhomogeneities, the sound scattering occurs, which can significantly alter the simple picture of propagation of ultrasound and, ultimately, also cause wave attenuation in the original direction of propagation. The refraction of the ultrasonic waves. Reflection of ultrasonic waves on the phenomenon of reflection based ultrasound diagnosis. If the propagation of ultrasound encounters an obstacle, the reflection happens if the obstacle is small, ultrasound as if it wraps around [14].

For emission and reception of elastic waves and vibrations using various methods. All are based on the transformation of energy. In the simplest case, this conversion can take place without changing the form of energy. However, most exciting and reception of elastic vibrations is accompanied by a change in the type of energy [6].

There are several ways to obtain ultrasound: mechanical, magnetostrictive, piezoelectric.

1. The mechanical ultrasonic vibrations, oscillation mode that occur without changing the type of energy.
2. Magnetostrictive ultrasonic vibrations occurs converting magnetic energy into mechanical vibrations.
3. Piezoelectric ultrasonic vibrations generated in the liquid, solid and gaseous substances under the influence of the piezoelectric effect.

Ultrasonic diagnosis is performed using the ultrasonic unit. It is a complex and yet sufficiently portable device is performed in a stationary or mobile device. To generate the ultrasonic use devices called ultrasonic emitters. The source and the receiver (sensor) of the ultrasonic waves in such a setting - piezoceramic plate (crystal), placed in the antenna (sound probe). This record - the ultrasonic transducer. Alternating electric current changes the size of the plate, thereby exciting the ultrasonic oscillations. Applied for diagnostic fluctuations have a short wavelength that allows you to create one narrow beam directed in part materiallo investigated [13]. The reflected waves are perceived the same plate and are converted into electrical signals. Recent supplied to an RF amplifier and further processed and outputted to the user as a one-dimensional (in the form of the curve) or a two-dimensional (in the form of images) of the image. The first is called sonogram, and the second - ultrasonogram (sonogram) or ultrasound scans.

The frequency of ultrasonic waves is selected depending on the purpose of study. For deep structures used lower frequencies and vice versa. For example, the study of the heart using waves with a frequency of 2,25-5 MHz in gynecology - 3.5-5 MHz ultrasound for eyes - 10-15 MHz. In modern installations echo sonograms and subjected to computer analysis for the standard programs. Printing information is in alphanumeric form, it can record on videotape, including color.

All ultrasonic devices other than the Doppler effect based on the work in pulsed mode echolocation: short pulse is emitted and reflected signal is perceived. Depending on the objectives of the study use different types of sensors. Some of them are designed to scan a surface of the body. Other sensors are connected to an endoscopic probe, they are used when intracavitary study, including combinations with endoscopy (endosonography). These sensors and probes, designed for ultrasonic location on the operating table, permit sterilization [15].

1.4. Classification of acoustic methods of nondestructive testing and their application.

1.4 Regular periodic structure

When creating regular periodic structures nature is not limited to systems with fixed values of the parameters of their lattices. In recent years, scientists have found and studied one of the hard coating is pliable base". Fundamental structural and mechanical properties of these systems is easiest to demonstrate in the midst of studying such common objects as a polymer film with a thin hard coating [6].

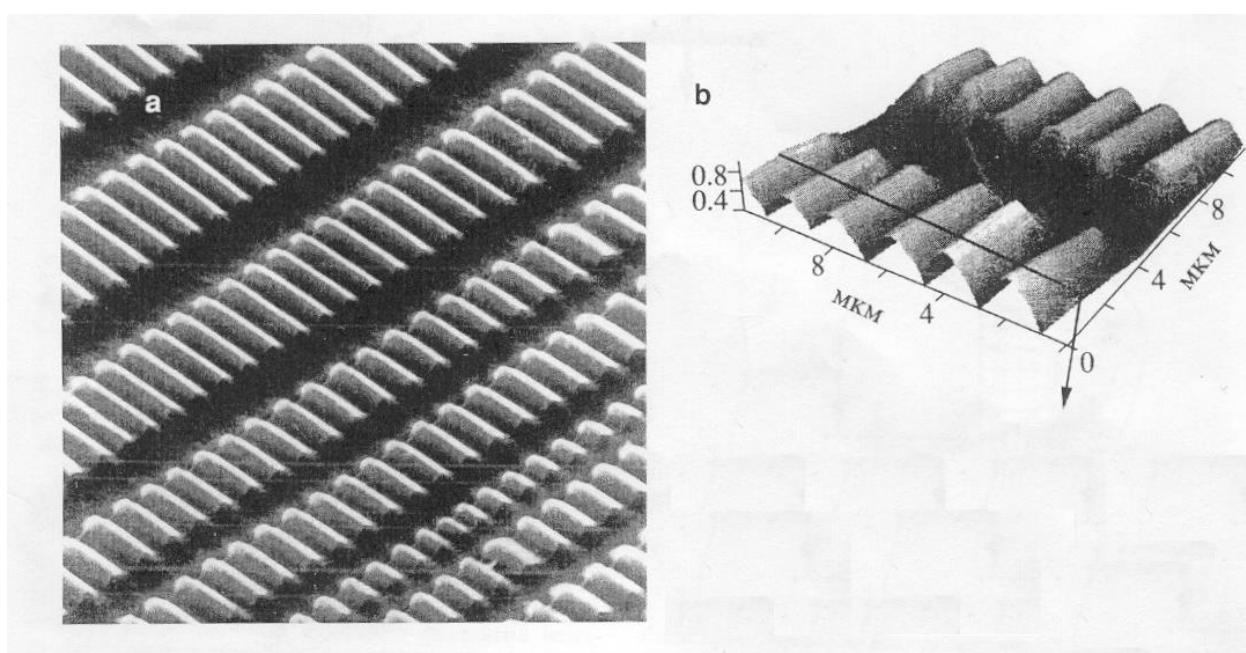


Figure 1.1 - Appearance of a regular periodic structure at a stretching of a polymeric film with a metallic coating (a) a polyvinylchloride film with platinum coating (electron micrograph); (b) is a polyester film with aluminum coating (the image is obtained atomic force microscope).

Turns out a stress fracture, so common in everyday life, and seemed well-studied films is accompanied by at least two phenomena of a General nature: cracking the cover on the set of regularly spaced "Islands" and the emergence of vysokodispersnogo, oriented along the axis of the strain relief. The resulting structure is highly organized, making dissipate and decompose the light like a real diffraction grating. The resolution of the obtained diffraction patterns indicates a high degree of order in the arrangement of the structure elements responsible for

the regular microrelief and the dimensions of the fragments of the fracture coatings and their location on the surface of the pliable substrate.

The appearance of these structures is of a General nature and does not depend on the nature of the material and coating. A necessary condition for determining the possibility of their occurrence, is a deformation of the systems of the type "hard coating on a compliant base", the distinctive properties, which is a negligible coating thickness compared to that of the substrate and a significant difference in the elastic moduli of the coating and the substrate.

To understand the mechanism of formation of regular structures of this type it is important that the polymer film subjected to uniaxial stretching, experiencing simultaneously two kinds of deformation: elongation in one direction is accompanied by compression perpendicular to each other. As a result, the hard coating on the surface of the film at the same time also experiences tension and compression. This allows us to consider separately both observed phenomena – the formation of microrelief and fragmentation of the coating. For the occurrence of the first responsible is the compression of the coating. It is a (non-uniform diameter) solid, experiencing deformation uniaxial compression on the surface of the stretchable film [6].

For the first time, the phenomena accompanying these processes was reviewed by the famous physicist and mathematician, a foreign honorary member of Petersburg Academy of Sciences L. Euler over 200 years ago.

He showed that under uniaxial compression the solid fibers, films, membranes) upon reaching a critical load the latter loses its stability and takes the form of a half-cycle. Such phenomenon readily observed in practical life, for example, compressing a thin metal ruler or sheet of paper. If thin hard coating is firmly connected with the compliant substrate (base), the picture of the buckling of the first decisive change.

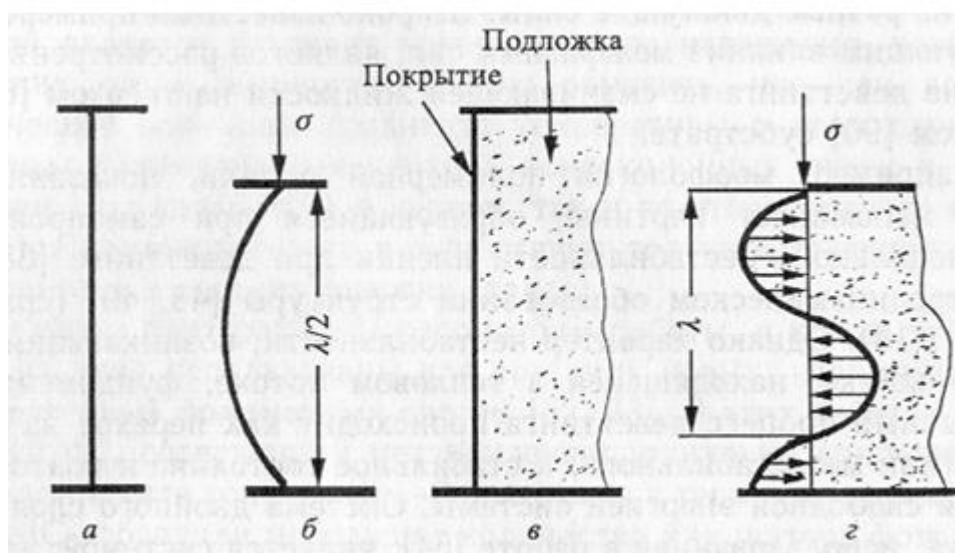


Figure 1.2 - Scheme of change of shape of the body during its compression in a free state (a, b) and a pliable base (c, d)

When the critical compressive load the solid body will not be able to take the form of a half-wave, because if you deviate from the rectilinear forms of the substrate will affect the returning force proportional to the magnitude of the deviation. The interaction of the external applied forces and the resultant internal resistance of the substrate, the coating will inevitably develop, like the folding rule, and adopt a sinusoidal shape with wave period equal to λ . The work force of the compressive deformations of a solid body (in this case the cover), obviously increases with the number of perfect curves (decreasing period of the relief). However, "attached" to the coating pliable, but very long substrate makes its own amendments in the process. It is obvious: the longer the period of relief, the ceteris paribus, the larger its amplitude. And that increase means "pulling" part of the polymer attached to the substrate, at a sufficiently large distance from its original smooth surface. For such a deformation of the substrate it is necessary to make a considerable effort, ie, do some work. In other words, in the event of elevation the increase in its period, so the "best" coverage, it is "not profitable" supply polymer base. In these circumstances, as always, nature is the way of minimizing energy costs. Their value in relation to rubber and plastic substrates, scientists of chemical faculty of Moscow state University first calculated theoretically and then

confirmed experimentally, which indicates the reasonableness of the assumptions made above concerning the mechanism of this kind of self-organization of matter.

Regular fragmentation of the hard shell is also connected with the peculiarities of the transmission of mechanical stresses from the pliable base hard coating through the interface. In particular, it depends on the nature of the mechanism of deformation of the substrate. From everyday experience we know that a polymeric film to deform, at least in two ways: homogeneously (behaves as rubber) and heterogeneous (plastic film). In the latter case continuously coexist fragments as the source of both the polymer and transformed into the oriented state (so called neck).

During uniform deformation of the polymer-substrate at the beginning of stretching, the size of the produced fragments of the coating are not identical. This effect is related to the fact that at the initial stage of fracture (at low elongation polymer-substrate) a decisive contribution in the fragmentation of coatings make the surface microdefects, initiating the destruction of the coating at the places of their localization. Such defects, obviously, are located in the coverage of a random, chaotic way, making and it is irregular, random destruction [6].

1.5 Models of phenomena occurring at the interface for heterogeneous environments under the influence of elastic stresses

Analysis of published data [19-21] devoted to the experimental study of the interface instability is fundamental. The mechanisms of loss of stability of the interface and the relaxation of the stresses depend on the specific properties of the parts constituting the two-layer system may be accomplished by forming an elastic coating cracks by forming folds and grooves. Analysis of interface instability is based on different approaches, using different models. Models are built either on the basis of the balance of elastic forces, or energy balance. This section describes three different approaches are used to analyze the surface of the instability induced by the applied voltage: Euler model, model Cherepanov and model Greenfeld.

1.5.1 Stability of Euler systems «hard coating on the basis of pliable»

Euler model was used to analyze the system instability « hard coating on the basis of pliable » in the works.

In the classical Euler scheme is considered absolutely rigid rod length l , with a hinged bottom end and the compressed force F . The rod is held upright elastic spring having a stiffness.

Assume that for some reason, small bending rod received axis, whereby it appeared bending moment $M = Fv$, where v - a beam axis deviation from the center line. It is necessary to note that the expression for the bending moment obtained for the strain state of the rod, in what appears nonlinearity [22].

Euler's Strength is recorded as

$$F = \frac{n^2 \pi^2 EI}{l^2} \quad (1.2)$$

where E - modulus of elasticity, and I - the moment of inertia of the beam, $n = 1, 2, 3, \dots$.

Thus, the curved shape of the rod balance is possible with fixed values of the compressive force. When $n = 1$, in accordance with 1.2 expression, the rod is bent to form a half-wave of the sinusoid, and this requires the minimum value of the force F . With increasing n , and a decrease in the period of the sinusoidal perturbation of the rod is required to make a large-largest force (Fig. 1.1).

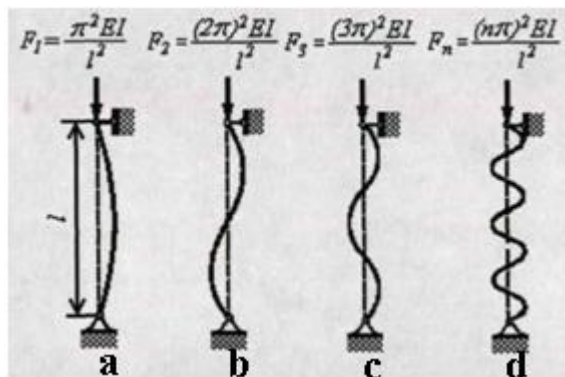


Figure 2.1 - Shape of buckling of the rod, corresponding to different the values of p [23]

As the review of the experimental work, the formation of regular micro relief under uniaxial tensile polymer films with a hard coating due to the Poisson lateral contraction of the polymer substrate during its uniaxial tension. The conclusion that this compression is responsible for the appearance of the regular micro-relief is of fundamental importance for the understanding of the physical phenomenon. In uniaxial compression coated solid body when the coating loses stability, and takes the form of a sine wave length of the critical load, equal to half the length of the compressible body [60]. The classic case is shown in Fig. 2.1 a and Fig. 2.1 b. If the specified asymmetric object strongly associated with pliable base (Fig. 2.1 c), the situation that occurs when compressing such an object, fundamentally change. When the critical compressive load a body can not take the form of a half-wave as a deviation from the straight form it will act on the part of the substrate restoring force that is proportional to the deviation. As a result of this interaction between the external applied force and emerging internal resistance from the substrate, the coating will inevitably sinusoidal wave with a period equal to λ (Fig. 2.1 d).

1.5.2 Model Cherepanov

In the GP Cherepanov [24] analytically solved the problem of thermal stresses occurring in "thin film-substrate" system with a time of personal coefficients of thermal expansion when the film deposited on the substrate and the cooling from the deposition temperature to operating temperature.

The following assumptions were used:

1. The film thickness is much less than the substrate thickness.
2. In the thermal cooling / heating a connecting layer of deformation shifts and does not crack formed (an ideal connection).
3. The substrate material is homogeneous, isotropic and linear thermo elasticity.
4. Uniform film material, isotropic and perfectly thermo elastic and plastic.

Thus, the model can explain the Cherepanova harmonic nature of the distribution of normal and shear stresses at the interface for heterogeneous environments, as well as a linear dependence of the amplitude modulation of the surface profile according to the thickness of the surface layer. The resulting solution gives a consistent description of progressive changes in morphology of the metal film attached to the ceramic substrate during heating or cooling[25]. In the process of heating or cooling induced formation of small bumps during the compression half-cycle, the dimensions of which are reduced to the minimum possible radius.

1.5.3 Model Greenfield

The model is considered Greenfield buckling initially flat solid surface loaded by applied voltages. For the first time the instability of the flat surface of a loaded solid body were theoretically predicted Asaro and Tiller. The general nature of this phenomenon has been shown in Greenfield works by analyzing the balance of elastic and surface free energy of a uniformly loaded solid body, so it is often called Greenfield instability.

This model is considered a non-hydrostatically loaded solid flat surface with the original applied voltage increases the elastic energy of the system, which is balanced by the surface tension. Upon reaching a certain critical power system size, the curvature of the surface becomes profitable loaded the body and the formation of the wave-like profile. The redistribution of the material on the surface is carried out by means of a substance transfer mechanism, such as by dissolution in a zone of contact with the chemical solution, melt, or by surface diffusion of heated sufficiently solid. The transport of matter occurs in the chemical potential gradient that includes a surface free energy of the system and resilient. Consider uniaxially and uniformly loaded semi-infinite body as shown in Fig. 1.3

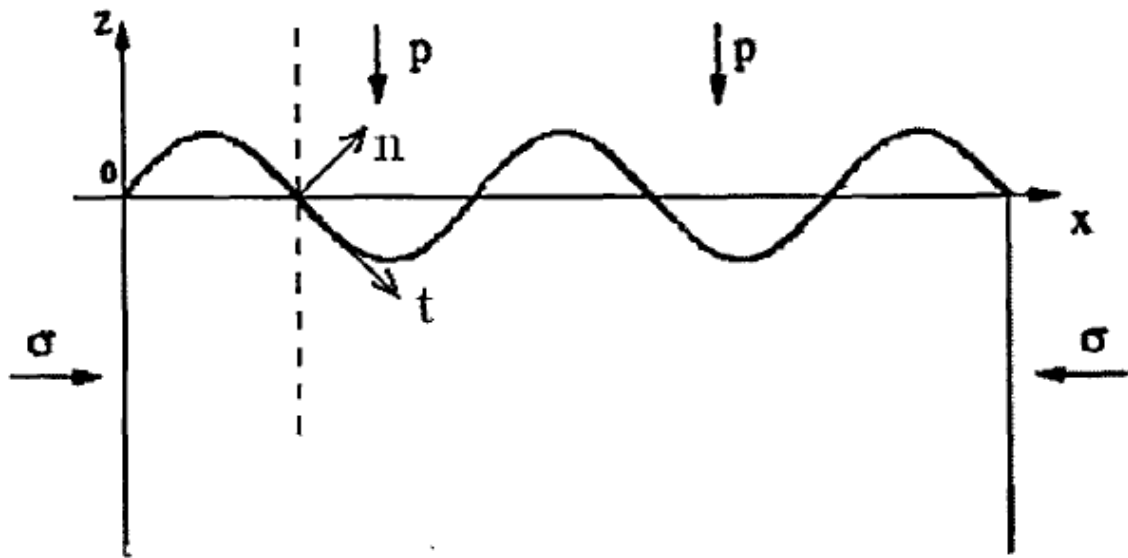


Figure 1.3 - Scheme Greenfield instability. C voltage is applied to the edges of the semi-infinite isotropic body in free contact with their own solution or melt under the pressure p [26].

The resulting voltage gradient along the surface currents are driven in substance from the depressions to the tops of the peaks. Therefore, the rate of deepening depressions will increase, thereby increasing the voltage gradient. The destabilizing effect of voltage is balanced by the surface tension, which tends to minimize the surface area.

The resulting voltage gradient along the surface of the material flows are driven out of the recesses to the tops of the peaks. Therefore, the rate of deepening depressions will increase, thereby increasing the voltage gradient. The destabilizing effect of voltage is balanced by the surface tension, which tends to minimize the surface area.

The competition between the destabilizing influence of stress associated with the formation of the relief, and the stabilizing effect of surface tension is characterized by a dispersion equation, which is obtained based on linear analysis of instability and to evaluate the critical wavelength of surface disturbances[25].

1.6 Statement of the Problem

Review of the literature data obtained to date indicates that there is strong experimental and theoretical results, indicating that the surface of the part can not be reduced only to the emergence of dislocations or drain [9, 11,15-18,20-25].

The aim of this study at the mesoscale level features of plastic deformation of single crystal of high-purity aluminum foil glued to the material of construction, the cyclical stretching, identifying possible mechanisms for the formation of surface deformation structures and their quantitative appraisal using fractal dimension.

In connection with the foregoing, the aim is to study Zuko-dimensional and periodic mechanisms of deformation structures at the mesoscale level of single-crystal aluminum foils cubic orientation, firmly fixed on the flat high-strength alloys samples D, which were subjected to cyclic stretch in the elastic region.

To achieve this, the following tasks:

1. To investigate the macroscopic structure of the longitudinal strips and the environ-ment of their areas on the front surface of the cubic orientation of a single crystal of aluminum foil on the mesoscale level after a different number of stretching cycles.
2. To investigate the strain relief is formed on the reverse side of the foil of a single crystal of cubic orientation of aluminum, at the mesoscale level after a different number of cyclic stretching cycles.
3. Investigate the local mechanical properties of the surface layers of the areas occupied by macroscopic longitudinal stripes and tvido-voy structure by measuring the hardness at different loads.
4. Analyze the results and the existing models of the formation of the relief given the nature of the two-layer system "foil - model". To find out the mechanism of deformation structures on aluminum foils with non-free single crystal cyclic tension.

5. To analyze the role of the surface in the development of plastic deformation of single crystals of aluminum foil, and the formation of the observed periodic structures on the basis of the literature data and the results obtained. To find out the mechanism of formation of protrusions tweed structure of aluminum single crystals under cyclic tension.

6. Using fractal analysis to quantify the evolution of the surface structures formed on the foils of aluminum single crystals with an unfree cyclic tension.

Приложение Б

Технические данные приборов:

Генераторы сигналов специальной формы ГСС-93

ПАРАМЕТРЫ	ЗНАЧЕНИЯ
Полоса частот выходных сигналов	0.2 Гц ... 10 МГц
Форма сигналов	Синусоидальная, прямоугольная, треугольная, пилообразная и т.д.
Выходное сопротивление	50 Ом $\pm 10\%$
Амплитуда выходного сигнала	10 В пик-пик $\pm 10\%$ (50 Ом) 20 В пик-пик $\pm 10\%$ (1 МОм)
Ступенчатый аттенюатор	0 дБ / 20 дБ / 40 дБ / 60 дБ
Смещение постоянной составляющей	-5 В ... +5 В $\pm 10\%$ (50 Ом) -10 В ... +10 В (1 МОм)
Симметрия	20% ... 80%
СИНУСОИДАЛЬНАЯ ВОЛНА	
Коэффициент искажения	10 Гц ... 100 кГц $\leq 0.8\%$
ТРЕУГОЛЬНАЯ ВОЛНА	
Линейность	90%
ПРЯМОУГОЛЬНЫЙ СИГНАЛ	
Длительность фронта /спада	20 нс

TTL (ТТЛ) выход	
Уровень	низкий $\leq 0.8 \text{ В}$ высокий $\geq 1.8 \text{ В}$
CMOP (КМОП) выход	
Уровень	3 Впик-пик ... 15 Впик-пик (регулируемый)
VCF (внешний контроль частоты напряжением) (опционально)	
Входное напряжение	0 В ... 2 В
Входной импеданс	100 кОм $\pm 10\%$
КАЧЕНИЕ ЧАСТОТЫ	
Режим свипирования	линейное /логарифмическое
Ширина развертки	≥ 1 полному частотному диапазону
Скорость свипирования	10 мс ... 5 с $\pm 10\%$
АМПЛИТУДНАЯ МОДУЛЯЦИЯ	
Несущая частота	100 Гц, 1 кГц, 10 кГц, 100 кГц, 1 МГц (для диапазонов)
Период входного сигнала	10 мс ... 5 с
Глубина	0% ... 100%
Частота модулирующего сигнала	1 кГц
Импеданс входа для внешней АМ	100 кОм $\pm 10\%$

Входная чувствительность	0 В ... 2 В
ЧАСТОТНАЯ МОДУЛЯЦИЯ	
Девияция	0% ... 5%
Частота модулирующего сигнала	1 кГц
Импеданс входа для внешней АМ	100 кОм $\pm$ 10%
Входная чувствительность	0 В ... 2 В
ЧАСТОТОМЕР	
Дисплей	5 разрядов (внутренний) 8 разрядом (внешний)
Частотный диапазон	0.2 Гц ... 10 МГц 0.2 Гц ... 100 МГц (внешн)
Входной импеданс	500 кОм /30 пФ
Опорный генератор	10 МГц
Точность	точность опорного генератора $\pm$ единица
Входной аттенюатор	-20 дБ
Стабильность опорного генератора	5×10^{-5} /день

ВЫХОД 50 Гц (опционально)	
Форма сигнала	синусоидальная
Выходная частота	50 Гц
ВЫХОД мощного сигнала	
Выходная мощность	10 Вт (нагрузка 4 Ом)
Форма сигнала	Синусоидальная
Выходная частота	10 Гц ... 40 кГц

Блок Питания GPS-1830D

Параметры	Значения
Стабилизация напряжения	
Выходное напряжение, В	18
Выходной ток, А	3
Нестабильность	$\leq 0,01\% = 3\text{мВ}$ при изменении напряжения питания $\leq 0,01\% = 5\text{мВ}$ при изменении тока нагрузки
Уровень пульсаций	$\leq 0,5\text{мВ} (< 3\text{А})$ $\leq 1\text{мВ} (\geq 3\text{А})$ в диапазон 5 Гц ... 1МГц
Время установления	$\leq 100\text{мс}$ (50%-изменения нагрузки, мин. ток 0,5А)
Температурный коэффициент	$\leq 10^{-4} \text{ }^{\circ}\text{C}$
Стабилизация тока	
Нестабильность	$\leq 0,2 + 3\text{мА}$ при изменении напряжения

	питания $\leq 0,3+3\text{мА}$ при изменении напряжения на нагрузке
Уровень пульсации	$\leq 3\text{мА}$
Стрелочный индикатор(GPS- х х х х)	
Класс точности	2,5
Количество индикаторов	2(вольтметр/амперметр)
Цифровой индикатор(GPS- х х х х D/ х х х х DD)	
Формат индикатора	3,5 разряда, СД-индикаторы
Погрешность индикации	$\pm(0,5\% + 2 \text{ ед.})$
Количество индикаторов	1 (совмещенный вольтметр/амперметр с переключателем А/V, GPS- х х х х D)
Изоляция	
Корпус-выход	$\geq 20\text{Мом}$ (500В)
Корпус-сеть	$\geq 30\text{Мом}$ (500В)
Общие данные	
Напряжение питания	100В/120В/22В/240В $\pm 10\%$, 50/60Гц
Габаритные размеры	128 х 145 х 285 мм
Масса	4 кг (GPS-1830)

Осциллограф С1-112а

ПАРАМЕТРЫ	ЗНАЧЕНИЯ
Полоса пропускания	0-10 МГц
Коэффициент отклонения	5 мВ/дел – 5 В/дел

Коэффициент развертки	0.05 мкс/дел – 50 мс/дел
Пределы основной погрешности коэффициентов отклонения и развертки	Не более $\pm 5\%$
Диапазон измеряемых напряжений постоянного тока	До 1000 В(2,5-25-250-1000В)
Диапазон измеряемых активных сопротивлений	2500кОм (2,5-25-250-1000 кОм)
Рабочая часть экрана	40 x60 мм
Потребляемая мощность	25 В x А
Масса	3,5 кг
Габариты	110 x190 x250 мм

Приложение В

[illegible]

Рис 6.1 схема катушки