

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

Институт физики высоких технологий

Направление подготовки Материаловедение и технологии материалов

Кафедра Материаловедение в машиностроении

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Определение трещиностойкости титанового сплава BT1-0 УДК 669.295.5

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Б21	Проскурников Георгий Вячеславович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ведущий научный сотрудник	Дерюгин Е.Е.	д.ф.-м.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Назаренко О.Б.	д.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

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

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

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

Институт физики высоких технологий

Направление подготовки Материаловедение и технологии материалов

Кафедра Материаловедение в машиностроении

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

_____ Панин В. Е.

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
4Б21	Проскурников Г.В.

Тема работы:

Определение трещиностойкости титанового сплава BT1-0

Утверждена приказом директора ИФВТ

Приказ №505/с от 29.01.16

Срок сдачи студентом выполненной работы:

21.06.2016

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. 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.).

Трещины одни из наиболее часто встречающихся на практике явлений, они образуются и развиваются в нагруженных конструкциях, деталях и механизмах. Таким образом исследование механизмов пластической деформации и разрушения при образовании трещин в металлах и сплавах является весьма актуальным.

Цель предлагаемой работы ознакомление с новой методикой определения трещиностойкости конструкционных материалов, разрабатываемой в лаборатории физической мезомеханики ИФПМ СО РАН, и определить трещиностойкость сплава BT1-0. В качестве основной характеристики трещиностойкости определяется удельная энергия разрушения.

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	Обзор литературы Постановка задачи, методика и материал исследования Результаты исследования и их обсуждение Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение Социальная ответственность
Перечень графического материала (15 слайдов) <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	1. Определение трещиностойкости титанового сплава BT1-0 2. Введение 3. Цели и задачи 4. Методика определения трещиностойкости. Трещина в конструкции 5. Методы определения трещиностойкости 6. Методы определения трещиностойкости 7. Критерии трещиностойкости. Удельная энергия разрушения 8. Коэффициент интенсивности напряжений 9. Применение методики для определения трещиностойкости сплава BT1-0. Материал исследования 10. Оборудование для исследования 11. Диаграмма «Нагрузка-смещение» 12. Анализ полученных изображений 13. Расчет удельной энергии разрушения и КИН 14. Заключение
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Обзор литературы	Дерюгин Е.Е.
Постановка задачи, методика и материал исследования	Дерюгин Е.Е.
Результаты исследования и их обсуждение	Дерюгин Е.Е.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Грахова Е. А.
Социальная ответственность	Назаренко О. Б.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Реферат – Abstract	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	16.02.2016
---	-------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ведущий научный сотрудник	Дерюгин Е. Е.	д.ф-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Б21	Проскурников Г.В.		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 86 с., 22 рис., 19 таблиц, 27 источников.

Ключевые слова: пластическая деформация, физическая мезомеханика, трещиностойкость, удельная энергия разрушения, коэффициент интенсивности напряжений.

Цель работы: ознакомление с новой методикой определения трещиностойкости конструкционных материалов, разрабатываемой в лаборатории физической мезомеханики ИФПМ СО РАН, и определить трещиностойкость сплава ВТ1-0. В качестве основной характеристики трещиностойкости определяется удельная энергия разрушения.

В качестве материала исследования использовали титановый сплав ВТ1-0. Испытания проводили растяжением образцов с шевронным надрезом на разрывной машине Instron-5582 при комнатной температуре. В результате нагружения получали данные о нагрузке и смещении берегов трещины, по которым строили диаграмму «нагрузка-смещение».

В процессе нагружения с помощью зеркальной камеры Pentax K-5 с интервалом 4с фиксировали изображения нагружаемого образца. По изображениям измеряли изменение ширины щели в точках приложения нагрузки и у конца шевронного надреза, а также раскрытие и длину трещины, в процессе нагружения. Полученные данные использовали для расчета критериев трещиностойкости.

В результате проведен эксперимент по определению трещиностойкости титанового сплава ВТ1-0. Трещиностойкость определили по критериям: G – удельная энергия разрушения и K_{Ic} – коэффициент интенсивности напряжений. Полученное значение K_{Ic} практически соответствует значениям для технического титана, приведенным в справочниках, что свидетельствует о том, что методика работает.

Данная ВКР размещена в электронно-библиотечной системе ТПУ.

Abstract

Final qualifying work 86 p., 22 fig., 19 tables, 27 sources.

Keywords: plastic deformation, physical mesomechanics, crack resistance, the specific energy fracture, stress intensity factor.

Objective: To introduce a new method of determining the crack resistance of structural materials, developed in the laboratory of physical mesomechanics ISPMS SB RAS, and to determine crack resistance VT1-0 alloy. As the main characteristics of the crack resistance is determined by the specific energy fracture.

As research, material used titanium alloy VT1-0. Tests were carried out by stretching samples with chevron notch on the tensile testing machine Instron-5582 at room temperature. As a result, the load received data load and displacement of the edges of the crack, which built the chart "load-displacement".

In the process of loading using an SLR camera Pentax K-5 with an interval 4 second fixed image of the loaded sample. The image was measured change in the gap width at the points of loading, and at the end of chevron notch, as well as disclosure and the length of the cracks in the process of loading. The data used to calculate the cracking resistance criteria.

As a result of an experiment to determine the crack resistance of titanium alloy VT1-0. Crack resistance determined by criteria: G - specific fracture energy and K_{Ic} - stress intensity factor. The obtained value almost corresponds to K_{Ic} values for technical titanium set forth in the references, which indicates that the technique works.

This FQW is available in electronic-library system TPU.

Оглавление

Введение	10
1 Обзор литературы	12
1.1 Трещина в конструкции	12
1.2 Коэффициент концентрации напряжений	14
1.3 Напряжения при наличии трещин в материале	15
1.4 Критерий Гриффитса	20
1.5 Скорость высвобождения упругой энергии	23
1.6 Энергия разрушения	25
2 Постановка задачи, методика и материал исследования	28
2.1 Постановка задачи исследования	28
2.2 Методика определения трещиностойкости твердых тел	29
2.3 Материал исследования	36
2.4 Оборудование для исследования	37
2.5 Получение диаграммы «Нагрузка – смещение»	38
2.6 Расчет удельной энергии разрушения и определение трещиностойкости	39
3 Анализ полученных результатов и их обсуждение	42
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	45
4.1 Техничко-экономическое обоснование научной работы	45
4.2 Потенциальные потребители результатов исследования	47
4.3 SWOT анализ	46
4.4 Планирование комплекса работ по проведению НТИ	49
4.4.1 Определение трудоемкости работ	51
4.4.2 Техническая готовность НТИ	52
4.4.3 Построение графика работ	54
4.5 Расчет бюджета затрат на НТИ	55
4.6 Оценка ресурсоэффективности	61

4.7	Определение научно-технического уровня исследования	61
5	Социальная ответственность	65
	Введение	65
5.1	Производственная безопасность	65
5.1.1	Анализ выявленных вредных факторов	67
5.1.2	Анализ выявленных опасных факторов	72
5.2	Экологическая безопасность	75
5.3	Защита в чрезвычайных ситуациях	77
5.4	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	78
	Заключение	80
	Список публикаций	83
	Список использованных источников	84

Введение

Материалы обладают низкими значениями сопротивления разрушению по сравнению с теоретическими величинами потому, что большинство металлических материалов пластически деформируются при намного более низких уровнях напряжения и, в конечном счете, разрушаются в результате накопления необратимых повреждений. Кроме того, материалы, из которых изготовлены детали и конструкции, не являются идеальными. Они содержат огромное количество дефектов, присущих самим материалам (поры, частицы шлака, включения и хрупкие частицы), и дефекты, возникающие в процессе производства (царапины, забоины, швы, возникающие при сварке, сварочные подрезы, следы механической обработки резанием). Кроме того, в конструкциях существуют концентраторы напряжений, возникающие в местах закругления или резких изменений площади сечений. Например, разрушение моста в Квебеке (Канада) в 1951 г. было связано с наличием трещины в стальном пролете.

Трещины всех типов чрезвычайно опасны для конструкций, так как могут привести к внезапному и полному их разрушению. Возможность возникновения трещин помимо химического состава сплава определяется также другими факторами, задающими величину и темп развития деформации в определенные промежутки времени. Величина и темп развития деформации металла на различных этапах, зависят от различных факторов [1]. Поэтому необходимо экспериментальное определение физических свойств (трещиностойкости, пластической деформации, предельной нагрузки и т.п.) материала или конструкции, до выхода в эксплуатацию. Такие работы ведутся в лаборатории физической мезомеханики ИФПМ СО РАН.

В данной работе поставлена цель познакомиться с новой методикой определения трещиностойкости конструкционных материалов, разрабатываемой в лаборатории физической мезомеханики ИФПМ СО РАН, и определить

трещиностойкость сплава ВТ1-0. В качестве основной характеристики трещиностойкости определяется удельная энергия разрушения.

На каждом этапе нагружения образца расходуется определенная энергия, связанная с увеличением свободной поверхности трещины в процессе ее распространения. Основной проблемой механики разрушения неоднородных сред является вычисление скорости высвобождения упругой энергии на стадии стабильного распространения трещины до момента катастрофического разрушения (удельная энергия разрушения). Скорость высвобождения упругой энергии, соответствующая началу спонтанного распространения трещины, является основной характеристикой трещиностойкости материала при заданных геометрических параметрах образца и граничных условиях нагружения.

1 Обзор литературы

1.1 Трещина в конструкции

Рассмотрим конструкцию, в которой находится трещина. При определенном воздействии нагрузки и окружающей среды трещина станет распространяться. Чем длиннее трещина, тем большую концентрацию напряжения она вызывает, а это значит, что с течением времени трещина будет постепенно увеличиваться. Мы можем представить развитие трещины как зависимость размера трещины от времени, изображенную на рисунке 1.1 а.

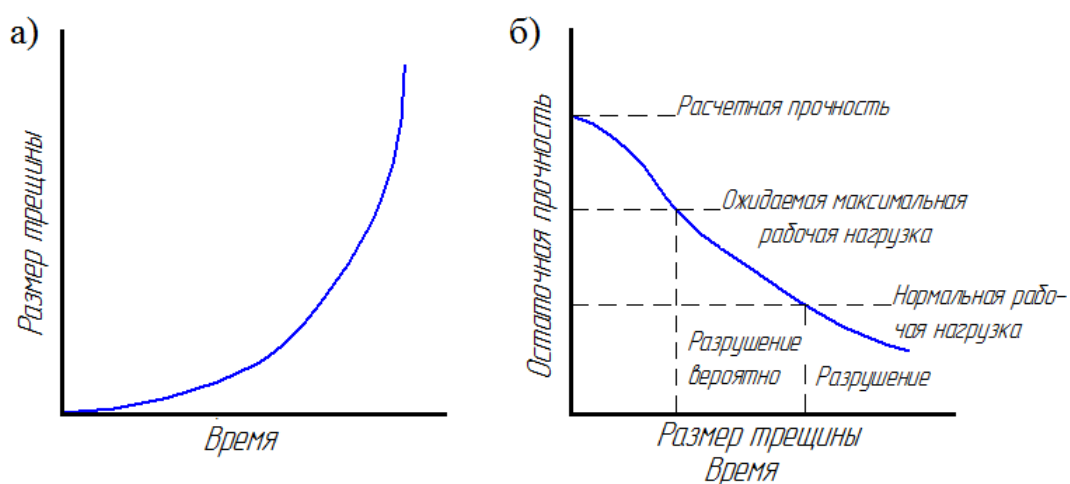


Рисунок 1.1 – а) кривая роста трещины, б) кривая остаточной прочности

Из-за наличия трещины, прочность конструкции уменьшается.

На рисунке 1.1б схематически представлена зависимость прочности от размера трещины. Как видно из рисунка, при определенном размере трещины прочность конструкции уменьшается настолько сильно, что в дальнейшем она не сможет выдерживать случайные сильные нагрузки, которые могут возникнуть в эксплуатации. С этого момента конструкция легко разрушается. А если эти случайные высокие нагрузки не возникают, то трещина продолжает расти, постепенно снижая прочность до тех пор, пока конструкция не начнет свою разрушение при эксплуатационных нагрузках. На каждом этапе нагружения образца расходуется определенная энергия, связанная с увеличением свободной поверхности трещины в процессе ее распространения.

Основной проблемой механики разрушения неоднородных сред является вычисление скорости высвобождения упругой энергии на стадии стабильного распространения трещины до момента катастрофического разрушения. Скорость высвобождения упругой энергии, соответствующая началу спонтанного распространения трещины, является основной характеристикой трещиностойкости материала при заданных геометрических параметрах образца и граничных условиях нагружения [1, 2]. Поэтому задача проектировщика состоит в том, чтобы не допустить возможность разрушения конструкции. Вероятность разрушения в период жизни и эксплуатации конструкции должна быть низкой. Следовательно, для обеспечения надежности конструкции, необходимо знать способность материала конструкции к распространению трещины.

Для успешного предсказания прочности материала конструкции нужно иметь понятия о таких дисциплинах, как материаловедение (структура материала, механическая и термическая обработка), прикладная механика (пластичность, прочность, разрушение, способы испытаний). Умение ориентироваться в этих дисциплинах, дало бы возможность определять критерии роста трещин и характеристики разрушения. А критерии эти предназначены для предсказания поведения трещины под действием внешних нагрузок. Понимание процессов разрушения дает также возможность выявить параметры материала, определяющие его трещиностойкость, эти параметры необходимо знать, если нужно получить материал с повышенной трещиностойкостью.

1.2 Коэффициент концентрации напряжений

Исследуя пластину с эллиптическим отверстием, Инглиз показал [3], что приложенное напряжение σ_a приводит к концентрации напряжений у концов главной полуоси эллипса (рисунок 1.2) согласно уравнению:

$$\sigma_{\max} / \sigma_a = 1 + (2a / b) . \quad (1.1)$$

где $\sigma_{\max}$ – максимальное напряжение у концов главной оси;

σ_a – приложенное напряжение, направленное по нормали к главной оси;

a – половина главной оси;

b – половина малой оси.

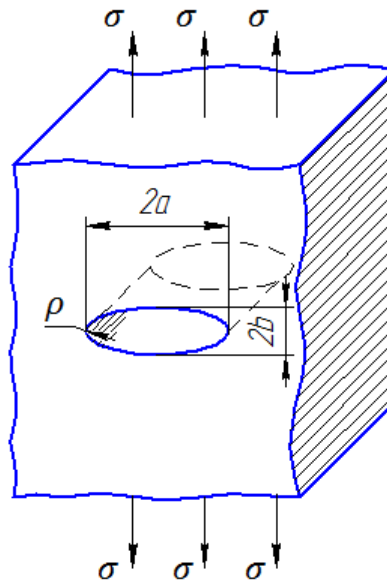


Рисунок 1.2 – Эллиптическое отверстие в бесконечно большой пластине

Радиус кривизны ρ у конца главной оси эллипса определяется уравнением:

$$\rho = b^2 / a . \quad (1.2)$$

Тогда, объединяя (1.1) и (1.2), можно получить:

$$\sigma_{\max} = \sigma_a \left[1 + 2\sqrt{a / \rho} \right] .$$

В большинстве случаев $a \gg b$, и поэтому

$$\sigma_{\max} \approx 2\sigma_a \sqrt{a / \rho} .$$

Член $2\sigma_a\sqrt{a/\rho}$ определяют, как коэффициент концентрации напряжений k , который отражает влияние геометрии трещины на величину локального уровня напряжений в вершине трещины. Хотя точные формулы, приведенные в разных источниках [4, 5], отличаются между собой, тем не менее все они отражают тот факт, что k возрастает с увеличением длины трещины и уменьшением радиуса у вершины трещины. Поэтому длина всех трещин, если они существуют в материале, должна быть как можно меньшей. Один из путей достижения этого – периодический осмотр и замена деталей, содержащих трещины опасной длины. В случае если трещина возникла, опасность возникновения большой концентрации можно уменьшить если просверлить у вершины трещины отверстие. При этом ρ увеличится, так как вместо острой вершины трещины возникнет отверстие сравнительно большого радиуса.

1.3 Напряжения при наличии трещин в материале

Разрушение деталей с дефектами можно так же изучать с использованием метода анализа напряжений, основанного на концепциях теории упругости. Ирвин решил задачу, связанную с определением распределения напряжений в области вершины для трех основных типов нагружения [3], представленных на рисунке 1.3.

– Тип I это трещина нормального разрыва. Данная трещина возникает в результате смещения берегов трещины перпендикулярно ее плоскости.

– Тип II это трещина сдвига, которая возникает при плоском сдвиге, т.е. когда смещение берегов трещины происходит в плоскости трещины перпендикулярно ее фронтальной линии.

– Тип III это трещина среза, которая образуется при антиплоском сдвиге, т.е. когда смещение берегов трещины в плоскости трещины параллельно ее фронтальной линии.

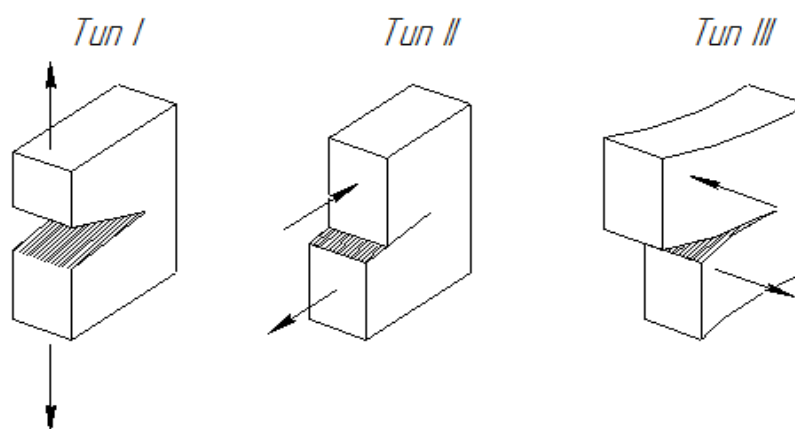


Рисунок 1.3 – Типы трещин

Нагружение I типа встречается в подавляющем большинстве реальных случаев разрушения деталей с трещинами. Вследствие этого, значительное внимание было уделено аналитическим и экспериментальным методам, разработанным специально для количественного определения соотношения между напряжениями, возникающими при нагружении по I типу, и длиной трещины

Нагружение II типа встречается менее часто и не имеет важного практического значения. Одним из примеров смешанного I и II типа нагружения является осевое нагружение в направлении трещины, расположенной под углом β и в результате вращения вокруг оси Z как показано на рисунке 1.4. Даже в этом примере аналитическими методами было показано, что при $\beta > 60^\circ$ вклад от нагружения I типа превалирует в поле напряжений в области вершины трещины.

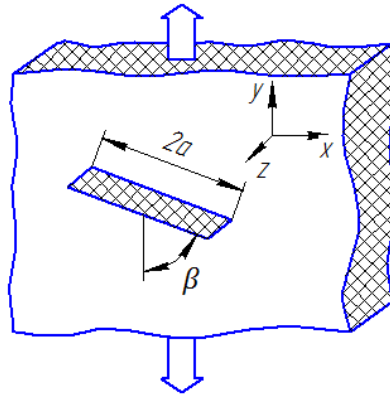


Рисунок 1.4 – Трещина, расположенная под углом β относительно оси y (I тип нагружения превалирует, когда $\beta > 60^\circ$)

Нагружение по III типу можно отнести к проблеме чистого сдвига, как например кручение круглого прутка с надрезом.

Используя обозначения, показанные на рисунке 1.5, напряжения в области вершины, можно выразить уравнениями

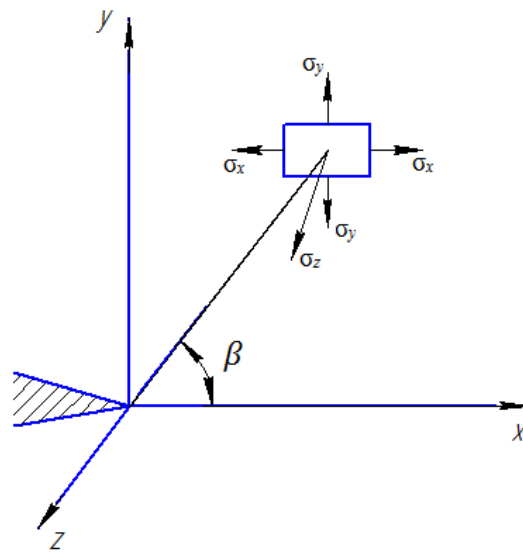


Рисунок 1.5 – Распределение напряжений в области вершины трещины

$$\sigma_y = (K / \sqrt{2\pi r}) \cos(\theta / 2) [1 + \sin(\theta / 2) \sin(3\theta / 2)],$$

$$\sigma_x = (K / \sqrt{2\pi r}) \cos(\theta / 2) [1 - \sin(\theta / 2) \sin(3\theta / 2)], \quad (1.3)$$

$$\tau_{xy} = (K / \sqrt{2\pi r}) [\sin(\theta / 2) \cos(\theta / 2) \sin(3\theta / 2)].$$

Из уравнений (1.3) следует, что при r , приближающимся к нулю, локальные напряжения могут возрастать до очень высоких значений. Как

отмечалось ранее, это возрастание предотвращается развитием пластической деформации в области вершины трещины. В связи с тем, что эта пластическая зона расположена внутри большой по размерам упругой области на нее воздействуют либо двухосные $(\sigma_y + \sigma_x)$, либо трехосные $(\sigma_y + \sigma_x + \sigma_z)$ напряжения, пластическая деформация в этой области подавлена. Например, если нагрузка приложена в направлении Y , в пластической зоне будет развиваться положительная деформация ε_y , а в направлениях X и Z , будут развиваться отрицательные деформации и при этом реализуется условие постоянства объема, необходимое для протекания процесса пластической деформации $(\varepsilon_y + \varepsilon_x + \varepsilon_z = 0)$. Напряжение σ_x ограничивает сжатие пластической зоны в направлении X , а отрицательная деформация ε_z уравнивается возникающим растягивающим напряжением σ_z . В связи с тем, что нормальные к свободной поверхности напряжения могут отсутствовать, напряжение в направлении толщины σ_z на обеих поверхностях должно равняться нулю, достигая относительно большой величины в средней по толщине пластины области [6]. В предельном случае тонкой пластины, σ_z не может существенно возрасти в направлении толщины, условие плосконапряженного состояния доминирует и

$$\sigma_z \approx 0 .$$

Однако в толстых сечениях развивается напряжение σ_z , которое обуславливает создание условий действия трехосных растягивающих напряжений в области вершины трещины и строго ограничивает деформацию в направлении Z . Можно показать, что условие плоско деформированного состояния приводит к возникновению напряжения по толщине пластины

$$\sigma_z \approx \nu(\sigma_x + \sigma_y) .$$

Схематически распределение напряжения σ_z по толщине пластины для условий плосконапряженного и плоскодеформированного состояний изображено на рисунке 1.6.

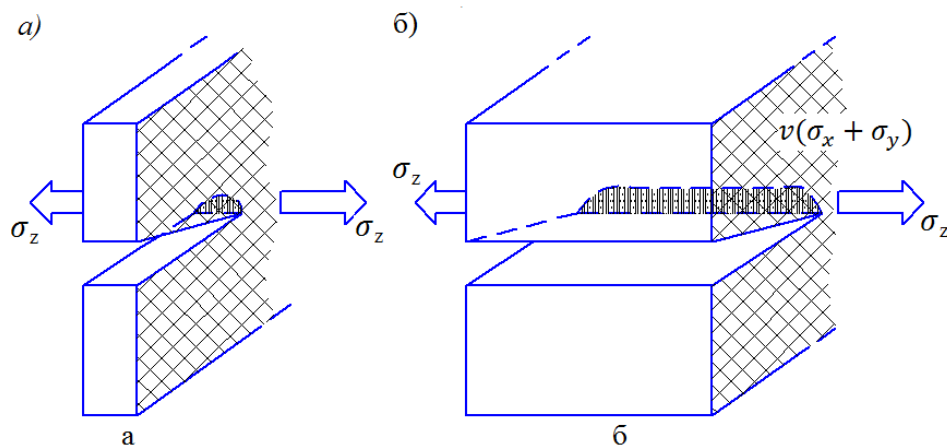


Рисунок 1.6 – Напряжение σ_z по толщине: а) тонких листов в условиях плосконапряженного состояния; б) толстых пластин в условиях плоскодеформированного состояния

Согласно уравнениям (1.3) распределение напряжения вокруг любой трещины носит одинаковый характер и зависит только от величины r и θ . Различия эти для образцов с трещинами учитываются параметром K , он назван *коэффициентом интенсивности напряжений*, который характеризует неоднородное поле напряжений в окрестности кончика трещины в квазихрупких материалах. Оценки показывают, что КИН сильно зависит от геометрической формы и размеров образца [4, 6]. Если распространению трещины предшествует значительная пластическая деформация, то трещиностойкость материала в принципе можно оценить такими характеристиками, как критическое раскрытие трещины (деформационный критерий) или так называемый J -интеграл (энергетический критерий). Для определения этих критериев можно использовать образцы существенно меньших толщин. Однако эти методы всё ещё должного развития не получили. Таким образом, для экспериментального определения K_{Ic} , согласно нормативным требованиям, требуются достаточно массивные образцы, в которых соблюдается условие плоского деформированного состояния.

Тенденция в важнейших областях современной индустрии к миниатюризации изделий требует иной, отличной от традиционной, оценки трещиностойкости материалов. По существу, КИН играет роль размерного

коэффициента, определяющего величину поле напряжений в области вершины трещины.

Из работы Ирвина [3] следует, что

$$K = f(\sigma, a),$$

причем вид функциональной зависимости определяется геометрическими размерами детали с трещиной и характером приложения нагрузки.

1.4 Критерий Гриффитса

В настоящее время в основе механики разрушения твёрдых тел с трещинами лежат количественные соотношения, которые более 90 лет тому назад были предложены Гриффитсом [7]. Он использовал метод анализа напряжений, в пластине с эллиптическим вырезом, предложенный Инглисом, и показал, что уменьшение упругой энергии пластины толщиной t , при возникновении трещины длиной $2a$, составляет $(\pi\sigma^2 a^2 t)/E$, где σ - внешнее приложенное напряжение растяжения, E - модуль Юнга. Поверхностная энергия трещины длиной $2a$ равна $2\gamma_s at$, где γ_s - удельная поверхностная энергия (энергия на единичную площадь). Из равенства этих двух приведенных выражений, Гриффитс получил связь γ_s с внешним напряжением в виде

$$\sigma = \sqrt{2\gamma_s E / \pi a}. \quad (1.4)$$

При использовании уравнения (1.4) важно иметь в виду, что оно выведено для упругого материала, содержащего острую трещину, т.е. трещину с бесконечно малым радиусом кривизны на конце. Поэтому соотношение Гриффитса является необходимым, но недостаточным условием для разрушения.

В предположении, что напряжение в окрестности устья трещины не могут превышать когезивной прочности материала, он получил уравнение связи

пластической деформации с радиусом кривизны ρ на конце трещины: $\gamma_p/\gamma_p = \pi\rho/8a_0$, где a_0 – атомный параметр решетки кристалла.

Согласно второму закону термодинамики переход всей накопленной энергии деформации в поверхностную энергию трещины невозможен. Опыт показывает, что в металлах и сплавах поверхностная энергия на несколько порядков меньше энергии, расходуемой на пластическую деформацию [2, 8]. В своих работах [3] Орован предложил учесть энергию пластической деформации γ_p и представлять уравнение (1.4) в виде

$$\sigma = \sqrt{2(\gamma_s + \gamma_p)E / \pi a} .$$

Возникновение линейно-упругой механики разрушения связано с работами Ирвина, применившим к проблеме разрушения твердых тел энергетический подход. Он ввел понятие «движущая сила трещины» G , как количество упругой энергии, отнесенное к длине элементарного прироста трещины

$\partial U/\partial a = G$ и показал, что

$$\sigma = \sqrt{GE / \pi a} . \quad (1.5)$$

Уравнение (1.5) является одним из наиболее важных соотношений в механике разрушения. Сравнивая (1.4) и (1.5), получаем $G = 2(\gamma_s + \gamma_p)$.

В точке неустойчивости величина G достигает критического значения $G = G_c$ и происходит разрушение. Критическое значение трещиноводвижущей силы G_c определяет энергетический критерий разрушения. В литературе величину G также называют «интенсивность высвобождения (выделения) энергии»

В работе Ирвин решил задачу о распределении напряжений в окрестности устья трещины. В общем виде на расстоянии r от устья трещины (Рисунок 1.7) компоненты тензора напряжений определяются выражениями

$$\sigma_{i,j} = (K / \sqrt{2\pi r}) f_{i,j}(\theta) . \quad (1.6)$$

где для неограниченной пластины $K_{Ic} = \sigma_c \sqrt{\pi a}$.

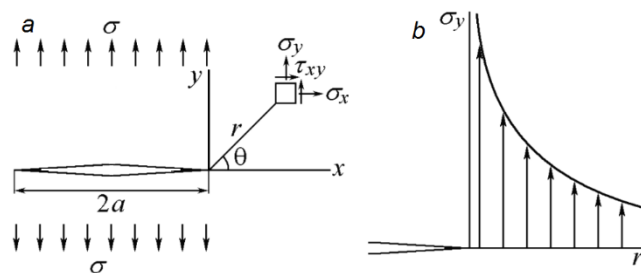


Рисунок 1.7 – Пластина с трещиной под действием внешнего напряжения σ (a) и распределение компоненты σ_y вблизи вершины трещины (b)

Рассматривают три типа трещин, которые определяются по индексу при К: трещина отрыва K_I , трещина сдвига K_{II} и трещина антиплоского сдвига K_{III} . Наиболее часто рассматривают трещину отрыва. Зная разрушающее напряжение можно найти критическое значение коэффициента интенсивности напряжений

$$K_{Ic} = \sigma_c \sqrt{\pi a} . \quad (1.7)$$

Уравнение (1.7) определяет силовой критерий разрушения. Очевидно, что силовой и энергетический критерии выполняются одновременно. Заменяя в данном выражении σ , согласно уравнению (1.6), получим

$$K_I = \sqrt{EG} . \quad (1.8)$$

Коэффициент K_I называют коэффициентом интенсивности напряжений (КИН). Выражение (1.8) отражает условие плосконапряженного состояния. В случае плоско-деформированного состояния

$$K_I = \sqrt{EG / (1 - \nu^2)} ,$$

где ν – коэффициент Пуассона.

Согласно уравнениям (1.3) распределение напряжений вокруг любой трещины носит одинаковый характер и зависит только от величины r и θ .

В случае трещины в теле определенной формы и размера качественный вид зависимостей (1.3) не изменяется, однако КИН становится функцией, зависящей от геометрических размеров образца и характера приложения к нему внешней нагрузки. В литературе по механике разрушения определено

множество функциональных зависимостей КИН для образцов разной конфигурации. Как правило, все они носят эмпирический характер. Точного решения для количественной оценки поля напряжений у вершины трещины при заданных размерах образца и граничных условиях нагружения не получено [8].

1.5 Скорость высвобождения упругой энергии

Скорость высвобождения упругой энергии G связана с деформацией и работой по образованию новых граничных поверхностей [8, 9]. Для твердого тела, содержащего трещину длиной a и подвергнутого нагружению в упругой области на рисунке 1.8, величина накопленной упругой энергии деформации составляет:

$$G = 0,5P\delta = 0,5P^2 / M .$$

где G – накопленная энергия деформации;

P – приложенная нагрузка;

δ – смещение берегов трещины, вызванное этой нагрузкой (раскрытие трещины);

M – жесткость твердого тела с трещиной длиной a .

Если трещина распространяется на величину da , то необходимая дополнительная поверхностная энергия покрывается работой внешних сил $Pd\delta$ и высвобождением энергии деформации dV . В результате

$$G = \frac{dU}{da} = P \frac{d\delta}{da} - \frac{dV}{da} .$$

и жесткость твердого тела уменьшается до M_2 . Если твердое тело жестко зажато в захватах, то рост трещины на величину da приведет к падению нагрузки от P_1 до P_2 ; если фиксированной остается нагрузка, то распространение трещины приведет к увеличению δ на $d\delta$, причем жесткость пластины M уменьшится.

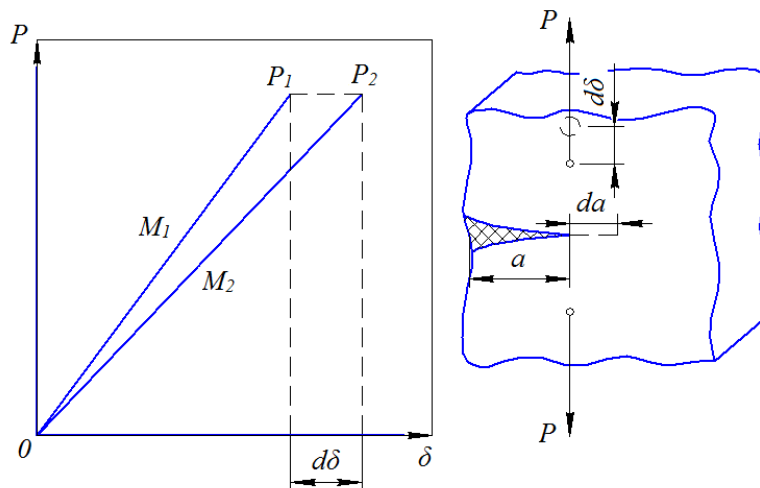


Рисунок 1.8 – График в координатах нагрузка – смещение для большой пластины с трещиной по всей толщине. В случае, когда длина трещины увеличивается на da (OP_2 соответствует условию фиксированного положения захватов, а OP_1 – случаю фиксированной нагрузки)

В случае фиксированных захватов уменьшается как P , так и M , однако величина отношения P/M останется той же, так как исходя из данных на рисунке 1.8.

$$\delta_1 = \delta_2 = P_1 / M_1 = P_2 / M_2. \quad (1.9)$$

Скорость высвобождения упругой энергии будет определяться уравнением

$$\left(\frac{dU}{da} \right) \delta = \frac{1}{2} \left[\frac{2P}{M} \times \frac{\partial P}{\partial a} + P^2 \frac{\partial(1/M)}{\partial a} \right]. \quad (1.10)$$

Дифференцируя уравнение (1.9), получим

$$\frac{1}{M} \frac{\partial P}{\partial a} + P \frac{\partial(1/M)}{\partial a} = 0.$$

Подставляя этот результат в (1.10), имеем

$$\left(\frac{dU}{da} \right)_{\delta} = -\frac{1}{2} P^2 \frac{\partial(1/M)}{\partial a}.$$

Можно показать, что в условиях фиксированной нагрузки

$$\left(\frac{dU}{da} \right)_{\delta} = 0,5P^2 \partial(1/M) / \partial a .$$

Заметим, что в обоих случаях скорость высвобождения упругой энергии одна и та же, только знак меняется на обратный. И это отражает тот факт, что, например, G не зависит от типа приложенной нагрузки (Например, фиксированные захваты, постоянная нагрузка, комбинации изменения нагрузки и смещения при условии жесткой машины). Тогда в условиях неустойчивости критическая скорость высвобождения энергии деформации определяется уравнением:

$$G_c = 0,5P_{\max}^2 \times \partial(1/M) / \partial a .$$

где $1/M$ – податливость образца с трещиной, которая зависит от размера трещины.

Если зависимость податливости от длины для данной формы образца установлена, то G_c можно получить, фиксируя значение нагрузки при разрушении при условии, что величина пластической деформации в области вершины трещины минимальна.

1.6 Энергия разрушения

Если энергия высока, как для случая с кривой C на рисунке 1.9, то говорят, что материал вязкий или обладает высокой вязкостью разрушения. Но если значения энергии низкие, то материал (например, кривые A и B) считают хрупкими [9].

В случае образцов с надрезом определение вязкости представляет собой некоторую трудность. Относительную вязкость (или же хрупкость) материала можно оценить, определяя величину области пластической деформации у вершины трещины.

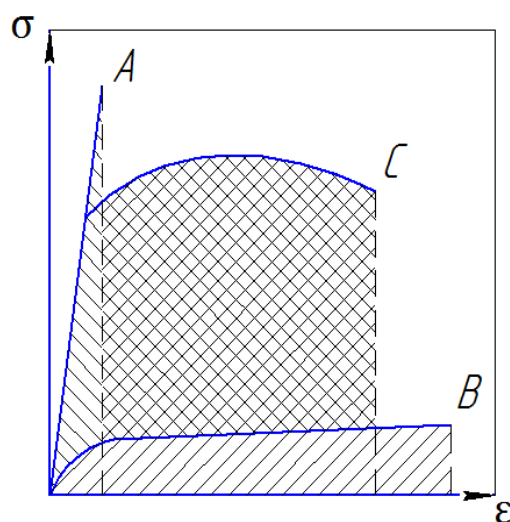


Рисунок 1.9 – Кривые «напряжение-деформация»

В связи с тем, что концентрация напряжений у вершины трещин часто приводит к повышению приложенного напряжения выше уровня, необходимого для протекания необратимой пластической деформации, в области вершины трещины будет существовать зона пластически деформированного материала, расположенная в упруго деформированной среде. Так как в процессе пластической деформации величина релаксируемой энергии намного больше, чем при упругой деформации, вязкость образца с надрезом будет возрастать с увеличением пластической зоны в области вершины трещины [9, 10].

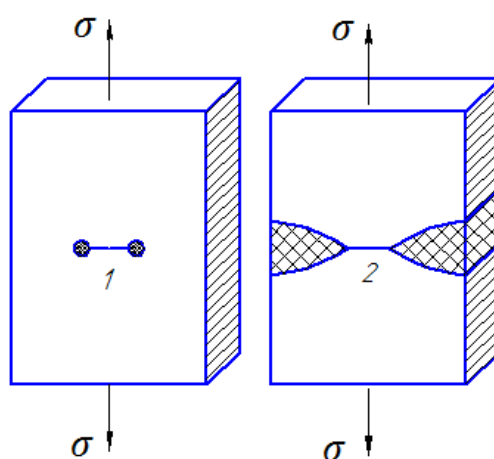


Рисунок 1.10 – Распространение пластической зоны (затемненная область) при разрушении по хрупкому (1) и вязкому (2) механизмам

Как следует из модели, представленной на рисунке 1.10, когда величина этой пластической зоны перед разрушением мала, общий уровень вязкости образца низкий и материал характеризуется как хрупкий. С другой стороны, если пластическая зона имеет широкое распространение в окрестности вершины трещины, охватывая протяженные объемы материала в образце вдали от зоны разрушения, то величина энергии разрушения будет высокой и материал характеризуется как вязкий.

2 Постановка задачи, методика и материал исследования

2.1 Постановка задачи исследования

Материалы, из которых изготовлены большие конструкции должны быть надежны. Разрушение сооружений и конструкций приводит, как правило, к определенному экономическому ущербу, а также к потерям многих человеческих жизней. Примерами таких конструкций служат мосты, корабли, самолеты, трубопроводы и т.д.

Существует целая наука, названная механикой разрушения твердых тел, которая изучает закономерности зарождения и роста трещин. Для ее понимания – необходимо успешно применять знания в области материаловедения и прикладной механики. Осознание механики зарождения и распространения трещины дает возможность проектировать надежные конструкции, но для этого нужно знать параметры для определения трещиностойкости материалов.

Безусловно, в мире уже существуют закрепившиеся и названные – стандартными, методы определения трещиностойкости, где используются образцы больших размеров (шириной не менее 10 мм). В стандартных образцах изначально требуется наведение усталостной трещины.

В лаборатории ИФПМ СО РАН, разрабатывается новый подход к методике определения трещиностойкости, где крупные образцы заменены на малоразмерные, а образование трещины происходит на вершине шевронного надреза, благодаря чему отпадает необходимость в наведении усталостной трещины. Данная методика хороша не только тем, что экономит время и ресурсы на проведение эксперимента, но также задает вектор нового научного развития.

Исходя из выше изложенного, в настоящей работе ставится цель освоить и применить на практике новую методику для определения трещиностойкости конструкционных материалов.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) Изучить новую методику определения трещиностойкости, разработанной в ИФПМ СО РАН;
- 2) Провести испытания образцов с шевронным надрезом из конструкционного материала ВТ1-0;
- 3) Применить данную методику для определения характеристик трещиностойкости титанового сплава ВТ1-0;
- 4) Проанализировать полученные экспериментальные данные и дать заключение о критериях трещиностойкости сплава ВТ1-0.

2.2 Методика определения трещиностойкости твердых тел

Известно, что при зарождении и распространении трещины происходит уменьшение жесткости образца или конструкции. Жесткость образца M определяется как отношение приложенной к образцу нагрузки P к смещению точки приложения нагрузки λ_e при упругой деформации образца:

$$M = P/\lambda_e.$$

Величина, обратная жесткости определяется как податливость образца η :

$$\eta = \lambda_e/P.$$

Необходимое условие для начала распространения сквозной трещины в плоском образце единичной толщины подчиняется уравнению [8, 11]

$$G = \frac{P^2 d\eta}{2dl}. \quad (2.1)$$

где $d\eta/dl$ – изменение податливости образца в процессе распространения трещины, dl – малое расстояние, на которое продвигается прямолинейный фронт трещины. На стадии стабильного распространения трещины эта величина характеризует трещиностойкость материала G_c . Из уравнения (2.1) следует, что упругая энергия на единицу новой поверхности трещины при ее продвижении на расстояние dl в образце толщиной a равна

$$G = \frac{P^2 d\eta}{2adl} = \frac{P^2 d\eta}{dS}.$$

где $dS = 2adl$ – элементарное приращение площади поверхности трещины. Далее характеристику G будем называть удельной энергией разрушения.

Рассмотрим способ определения удельной энергии разрушения на примере образца с прямолинейным надрезом, имеющего форму двухконсольной балки (рисунок 2.1). Расстояние от точки приложения нагрузки до фронта трещины для данной конструкции есть не что иное, как первоначальная длина трещины l_0 . Для этого случая удельная энергия разрушения определяется выражением [12]

$$G = \frac{12P^2 l^2}{Eb^3 a^2} \quad (2.2)$$

где E – модуль Юнга, $l = l_0 + \Delta l$ – длина трещины, b – толщина отдельной консоли, Δl – длина трещины, зародившейся на конце шевронного надреза, a – толщина образца (рисунок 2.1), P – внешняя нагрузка, соответствующая страгиванию трещины длиной l .

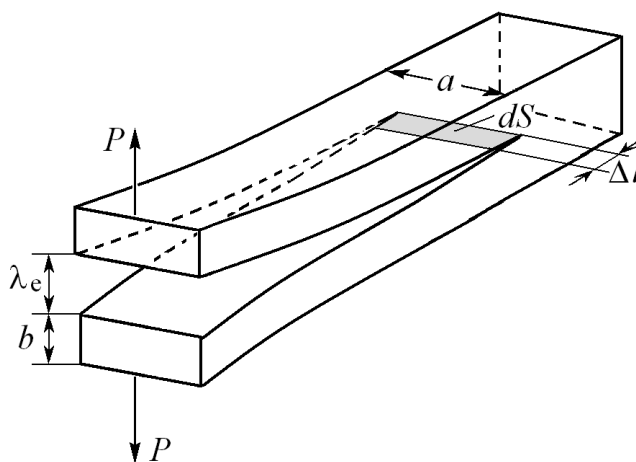


Рисунок 2.1 - Образец с прямолинейным надрезом

Согласно [13], смещение точек приложения нагрузки λ_e для образца шириной a с длиной трещины l обеспечивает нагрузка:

$$P = \frac{E\lambda_e a}{8} \left(\frac{b}{l} \right)^3 \quad (2.3)$$

Подставляя это выражение в уравнение (2.2), получим уравнение для G , позволяющее вычислить энергию разрушения по длине трещины l и по величине упругого раскрытия концов надреза λ_e :

$$G = \frac{3\lambda_e^2 b^3 E}{16l^4}. \quad (2.4)$$

В данном представлении величина G не зависит от толщины образца a .

Уравнение (2.2) определяет удельную энергию разрушения по длине трещины l и величине внешней нагрузки P , при которой начинается спонтанное распространение трещины. Недостатком такого способа определения критериев трещиностойкости, как указывалось выше, является необходимость предварительного нанесения на конце выреза усталостной трещины и использования образцов толщиной не менее 10 мм.

При испытании малоразмерных образцов, как правило, используют образцы с шевронным надрезом [2, 9].

На рисунке 2.2 приведены примеры образцов с шевронным надрезом. Для образцов такой конфигурации не требуется операции наведения усталостной трещины. С момента нагружения на конце шевронного надреза возникает большая концентрация напряжения, достаточная для зарождения трещины. Геометрия шевронного надреза позволяет фиксировать и продлевать стадию стабильного распространения трещины и тем самым более точно рассчитать начало катастрофического разрушения образца.

Как правило, в экспериментах используют короткие образцы круглого сечения (рисунок 2.2 а). Недостатком указанного метода измерения является то, что для определения изменения податливости образца требуется в процессе нагружения осуществлять режим «нагрузка-разгрузка». Кроме того, в расчетные формулы входят подгоночные коэффициенты, учитывающие нелинейное поведение материала и сложную геометрическую форму надреза.

В настоящей работе использовался удлиненный образец прямоугольного сечения, как показано на рисунке 2.2 б).

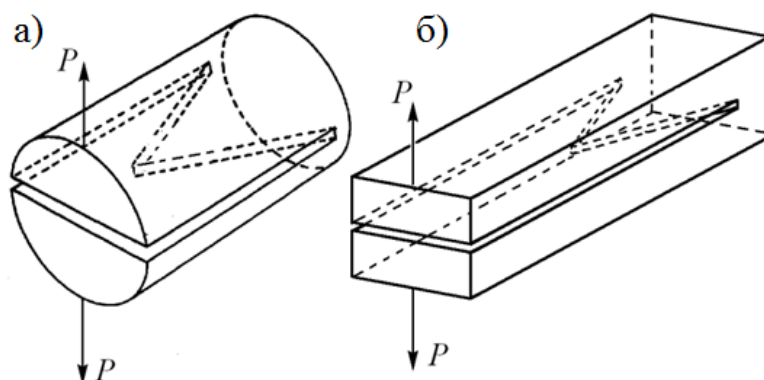


Рисунок 2.2 – Примеры образцов с шевронным надрезом: короткий образец круглого сечения (а) и удлиненный образец прямоугольного сечения (б)

Расчет удельной энергии разрушения определяли на основе расчёта энергетических и силовых параметров образца с учетом сложной геометрии шевронного надреза по строгим законам механики деформируемого твёрдого тела.

Так же, как и для образцов с прямолинейным надрезом, образец с шевронным надрезом рассматривается как двухконсольная конструкция, для которой находится зависимость смещения точек приложения нагрузки λ_e от величины приложенной внешней нагрузки P на стадии упругой деформации, т.е. когда нет пластической деформации и зарождения трещины на конце шевронного надреза. Чтобы учесть влияние геометрии шевронного надреза, отдельная консоль представляется в виде пачки элементарных консолей (миниконсоль) бесконечно малой ширины dx . На рисунке 2.3 изображены проекции образца с шевронным надрезом.

Длина миниконсоли на расстоянии x от оси симметрии образца равна $l(x) = l_0 + x \operatorname{ctg}(\alpha/2)$, где l_0 – минимальное расстояние от точки приложения нагрузки до шевронного надреза, α – угол шевронного надреза. Для каждой миниконсоли справедлива известная формула из теории упругости [11, 13]:

$$\lambda'_e = \frac{4dP(x)}{Edx} \left(\frac{l(x)}{b} \right)^3. \quad (2.5)$$

где λ'_e – прогиб миниконсоли; dP – элементарная нагрузка, под действием которой консоль толщиной dx прогибается на величину λ'_e ; b – толщина миниконсоли.

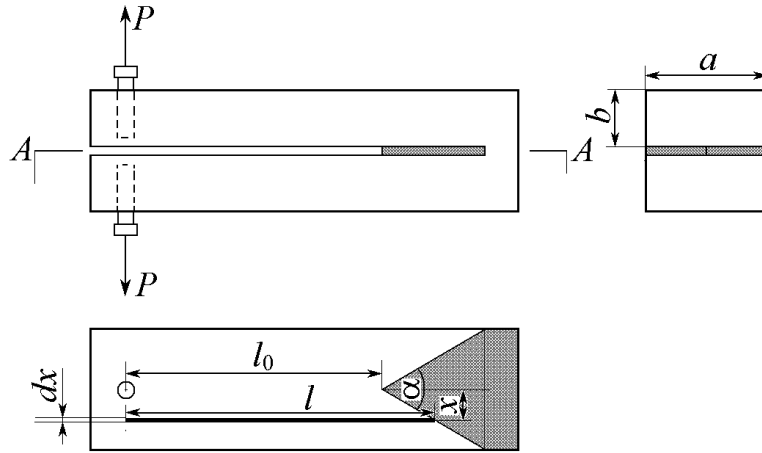


Рисунок 2.3 - Проекция образца с шевронным надрезом

Очевидно, что для двухконсольной конструкции измеряемое смещение точек приложения нагрузки λ в два раза больше чем λ' , т.е. $\lambda_e = 2\lambda'_e$. С учётом этого обстоятельства из соотношения (2.5) получим зависимость элементарной нагрузки dP , приложенной к концу миниконсоли от её ширины dx :

$$dP(x) = \frac{\lambda E}{8} \left(\frac{b}{l(x)} \right)^3 dx. \quad (2.6)$$

Интегрирование элементарных сил (2.6), действующих на каждую миниконсоль по всей ширине образца a , очевидно, определяет действительную нагрузку P , обеспечивающую смещение точек приложения нагрузки на величину λ_e :

$$P = \frac{\lambda_e b^3 E}{8} \int_{-\frac{a}{2}}^{\frac{a}{2}} dx / \left(l_0 + x \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} \right)^3 = \frac{E \lambda_e a}{8} \left(\frac{b}{l_0} \right)^3 \left[4 + \frac{a}{l_0} \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} \right] / \left[2 + \frac{a}{l_0} \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} \right]^2. \quad (2.7)$$

Данное уравнение отличается от уравнения (2.3) для случая прямолинейного надреза лишь коэффициентом

$$k' = \left[4 + \frac{a}{l_0} \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} \right] / \left[2 + \frac{a}{l_0} \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} \right]^2.$$

В процессе нагружения возникает момент зарождения трещины на конце шевронного надреза. В связи с этим увеличивается эффективная длина трещины. Рассмотрим теперь состояние образца с шевронным надрезом в момент, когда в процессе зарождения и распространения трещины материал потерял сплошность на участке Δl (рисунок 2.4). Представим фронт трещины в виде прямой линии. Длина этой линии равна $x = 2\Delta l \cdot \operatorname{tg}(\alpha/2)$. Образец с трещиной можно представить в виде совокупности двухконсольных балок: с прямолинейным надрезом шириной x и с шевронным надрезом шириной, $a - x$ (рисунок 2.4).

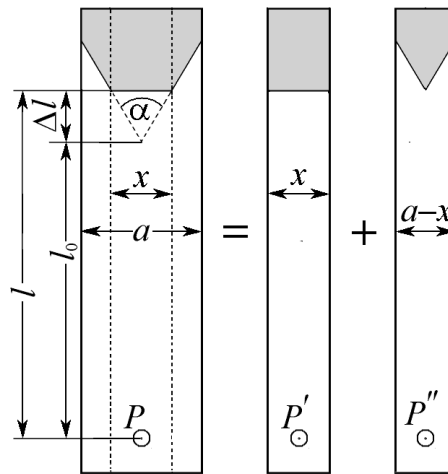


Рисунок 2.4 – Представление образца с трещиной в виде балок с прямолинейным и шевронным надрезами

Требуется для данных частей определить соответственно силы P' и P'' , вызывающие одинаковое смещение λ_e точек приложения этих сил. Используя уравнение (2.3), находится выражение для силы P' , действующей на образец шириной $x = 2\Delta l \cdot \operatorname{tg}(\alpha/2)$:

$$P' = \frac{\lambda_e E \Delta l}{4} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \left(\frac{b}{l} \right)^3. \quad (2.8)$$

Используя уравнение (2.6), для балки шириной $a - x$, получим выражение для силы P'' :

$$P'' = \frac{\lambda_e a E \left(\frac{b}{l}\right)^3 \left(1 - \frac{2\Delta l}{a} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}\right) \frac{l}{l_0} \left[4 + \frac{a}{l_0} \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} + \frac{2\Delta l}{l_0}\right]}{\left[2 + \frac{a}{l_0} \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}\right]^2}. \quad (2.9)$$

Из уравнений (2.8) и (2.9) определяется выражение для λ_e :

$$\lambda_e = \frac{8P}{Ea} \left(\frac{l}{b}\right)^3 k^{-1}. \quad (2.10)$$

где $P = P' + P''$, $l = l_0 + \Delta l$ и коэффициент k равен

$$k = \left[\frac{2\Delta l}{a} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \left[2 + \frac{a}{l_0} \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}\right]^2 + \left(1 - \frac{2\Delta l}{a} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}\right) \left(\frac{l}{l_0}\right) \left(4 + \frac{a}{l_0} \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} + \frac{2\Delta l}{l_0}\right) \right] \left/ \left[2 + \frac{a}{l_0} \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}\right]^2 \right.$$

Подставляя выражение (2.10) для λ_e в уравнение (2.4), получим выражения удельной энергии разрушения G .

$$G = \frac{3\lambda_e^2 b^3 E}{16l^4} = \frac{12P^2 l^2}{Eb^3 a^2} k^{-2}. \quad (2.11)$$

В [14] показано, что смещение точек приложения нагрузки равно

$$\lambda_e = \frac{8P}{Ea} \left(\frac{l}{b}\right)^3 \left[\frac{2\Delta l}{a} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} + \left(1 - \frac{2\Delta l}{a} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}\right) \left(\frac{l}{l_0}\right) \frac{4 + \frac{a}{l_0} \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} + \frac{2\Delta l}{l_0}}{\left[2 + \frac{a}{l_0} \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}\right]^2} \right]^{-1}. \quad (2.12)$$

где $P = P_1 + P_2$ и $l = l_0 + \Delta l$.

В качестве критерия трещиностойкости в инженерной механике разрушения для трещины отрыва используется, как правило, коэффициент интенсивности напряжений (КИН). Связь КИН с удельной энергией разрушения G даётся уравнением

$$K_{Ic} = \sqrt{\frac{EG}{1-\nu^2}}. \quad (2.13)$$

Следует заметить, что для металлических материалов, обладающих достаточной пластичностью, данная характеристика теряет физический смысл.

Уравнения (2.11) и (2.13) были использованы для вычисления энергии разрушения, определяющей необходимое условие для начала распространения трещины в исследуемых материалах.

2.3 Материал исследования

Сплав ВТ1-0 относится к техническому титану, применяется для изделий с высокой прочностью, имеет высокое сопротивление к малым пластическим деформациям, хрупкому и усталостному разрушению. Наиболее широкое применение нашел в машиностроении и приборостроении, а также в инструментальной промышленности. Химический состав: Fe – до 18%; С – до 0,07%; Si – до 0,1%; N – до 0,04%; Т – 98,61 – 99,7%; О – 0,12%; Н – 0,01%.

В данной работе использовалось 3 образца длиной 18 мм, которые вырезали из прутка квадратной формы сечением 6х6 мм². Шевронный надрез наносили электроэрозионным способом в виде узкой щели шириной 0,25 мм, разделяющей образец на две равные части, толщиной $b=4,4$ мм и шириной, $a=4,34$ мм границу надреза задавали в виде V-образной линии с углом $\alpha = \pi/3$, изображение представлено на рисунке 2.5.

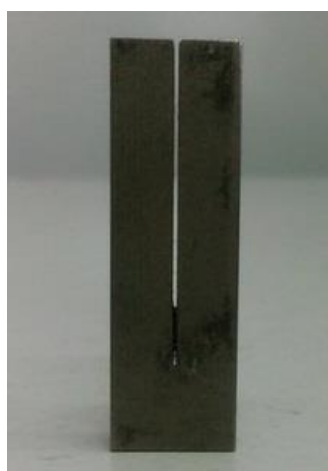


Рисунок 2.5 – Изображение образца ВТ1-0

2.4 Оборудование для исследования

Испытание проводили при комнатной температуре растяжением образцов на специальной разрывной машине Instron – 5582, рисунок 2.6.



Рисунок 2.6 – Испытательная машина Instron - 5582

В данной работе нагружение проводили по методу расклинивания, поэтому был использован клин с углом заострения 40° , рисунок 2.7.



Рисунок 2.7 – клин с углом заострения 40°

В процессе нагружения с помощью зеркальной камеры Pentax K-5, (рисунок 2.8) с интервалом 4 с фиксировали изображения нагружаемого образца.

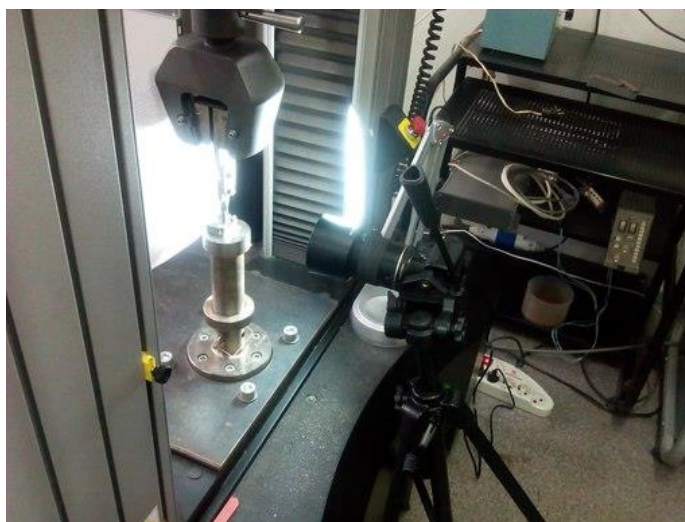


Рисунок 2.8 – Камера производит съемку во время нагружения образца

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»
 Студенту:

Группа	ФИО
4Б21	Проскурников Георгий Вячеславович

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

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	- Инициатор проекта ИФП СО РАН; - Примерный бюджет проекта 7 млн.руб.; - В исследовании задействовано 2 человека: руководитель проекта, инженер-разработчик.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	- Проект выполняется в соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов»; - Минимальный размер оплаты труда в 2016 году составляет 6675 руб.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	- Согласно п.3 п.п.16 ст. 149 НК РФ данная НИР не подлежит налогообложению. На основании п. 1 ст. 58 закона №212-ФЗ для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году вводится пониженная ставка для расчета отчислений во внебюджетные фонды – 27,1% от фонда оплаты труда.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения проектной работы с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	- Техничко-экономическое обоснование научно-исследовательской работы; - Потенциальные потребители результатов исследования; - Swot-анализ НИИ.
2. Планирование и формирование бюджета проектной работы	- Планирование комплекса работ по проведению НИИ; -Расчет бюджета затрат на НИИ.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	- Оценка эффективности НИИ; - Определение научно-технического уровня проекта.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Матрица SWOT
2. График проведения работ и бюджет НИИ

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Б21	Проскурников Георгий Вячеславович		

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности научно-исследовательского проекта, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

Для достижения обозначенной цели необходимо решить следующие задачи:

- оценить коммерческий потенциал и перспективность разработки проекта;
- осуществить планирование этапов выполнения исследования;
- рассчитать бюджет *НТИ*;
- произвести оценку ресурсной и экономической эффективности исследования.

4.1 Технико-экономическое обоснование научно–исследовательской работы

Темой дипломного проекта является «Определение трещиностойкости титанового сплава ВТ1-0». Объектом исследования является методика определения трещиностойкости конструкционных материалов разработанная в ИФПМ СО РАН.

Научное исследование посвящено изучению новой методики определения трещиностойкости конструкционных материалов, разрабатываемой в лаборатории физической мезомеханики ИФПМ СО РАН и определению критериев трещиностойкости сплава ВТ1-0.

Разработка НИР производится группой квалифицированных работников, состоящей из двух человек – руководителя и студента.

Известно, что трещины всех типов чрезвычайно опасны для конструкций, так как могут привести к внезапному и полному их разрушению.

Наличие данного факта требует дополнительных мер безопасности, поэтому необходимо экспериментальное определение физических свойств трещиностойкости, материала или конструкции, до выхода в эксплуатацию.

4.2 Потенциальные потребители результатов исследования

Данное научное исследование не имеет коммерческого потенциала, поскольку является инициативным проектом в рамках научно-исследовательской работы для ИФПМ СО РАН, но обладает значительным инновационный потенциалом, заключающимся в том, что метод определения трещиностойкости конструкционных материалов позволяет экономить значительное количество ресурсов и времени.

Потенциальными потребителями результатов этого исследования являются предприятия машиностроительной отрасли, расположенные на территории Российской Федерации, включающие в себя судостроительные, автомобильные, авиакосмические, железнодорожные, оборонно-промышленные комплексы и т.д.

4.3 SWOT анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

SWOT – анализ проекта позволяет оценить факторы и явления способствующие или препятствующие продвижению проекта на рынок. [21] Для анализа проекта составлена таблица 4.1.

Сперва описываются сильные и слабые стороны проекта, для выявления возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

Таблица 4.1 – SWOT анализ проекта

Сильные стороны	Возможности во внешней среде
С1. Методика определения трещиностойкости материалов исследованная в данной работе является принципиально новой; С2. Методика, описанная в работе, несет в себе экономичность и ресурсоэффективность; С3. Возможность применения данной методики, для любых твердых материалов; С4. Актуальность разработки; С5. Наличие опытного руководителя.	В1.Простая адаптация научного исследования под иностранные языки; В2.Большой потенциал применения методики в России; В3.В случае принятия новой методики в России, возможен выход на мировой уровень.
Слабые стороны	Угрозы внешней среды
Сл1. Завышенные требования к оборудованию т.к. для проведения эксперимента требуются сложные испытательные установки Сл2. Возможность появления новых методов определения трещиностойкости Сл3. Многостадийность методики Сл4. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой	У1.Возможность создание более доступной в цене аналогового метода определения трещиностойкости; У2.Отсутствие спроса на новую методику; У3.Закрытие машиностроительных предприятий на территории РФ.

Следующий этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

Таблица 4.2 – сильные стороны проекта

Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	+	0	+	+	+
	B2	+	+	+	-	0
	B3	+	+	+	-	0

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие сильных сторон и возможности: B1C1C3C4C5, B2B3C1C2C3.

Таблица 4.3 – слабые стороны проекта

Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	B1	0	0	+	0
	B2	0	+	-	+
	B3	0	+	-	+

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие слабых сторон и возможности: B1Сл3, B2Сл2Сл4, B3Сл2Сл4.

Таблица 4.4 – сильные стороны проекта

Угрозы		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	+	+	0	-	0
	У2	+	0	0	+	0
	У3	-	-	-	-	0

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие сильных сторон и угроз: У1С1С2, У2С1С4.

Таблица 4.5 – слабые стороны проекта

Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	У1	-	+	-	-
	У2	0	-	+	+
	У3	0	-	0	0

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие слабых сторон и угроз: У1Сл4.

Проведен комплексный анализ научно-исследовательского проекта. Самой большой угрозой для проекта является возможность создания более доступного в цене аналогового метода определения трещиностойкости, что на данном этапе не прогнозируется, поскольку данная методика имеет теоретическую, математическую и экспериментально обоснованную базу, которая является наиболее удобной (в сравнении с ныне существующими) и целесообразной в использовании. Также среди угроз можно отметить низкий темп роста (иногда спад), ведущих отраслей машиностроения, что в свою очередь может привести к закрытию некоторых машиностроительных предприятий. Данная проблема является актуальной для России, выходом здесь может послужить – поиск перспективных действующих предприятий на территории РФ, а также налаживание партнерских отношений с производственными предприятиями стран СНГ и «Ближнего зарубежья».

Что касается слабых сторон, то экспериментальное определение трещиностойкости материалов, подразумевает использование – сложных и дорогостоящих испытательных машин. Поэтому для работы с данными машинами требуется привлечение опытных кадров.

Проблема об отсутствии у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой, так как для ее применения требуются знания в области материаловедения и механики разрушения для решений данной проблемы необходимо обучение персонала.

4.4 Планирование комплекса работ по проведению НТИ

Трудоемкость выполнения НИР оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Разделим выполнение дипломной работы на этапы, представленные в таблице 4.6:

Таблица 4.6 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ работы	Содержание работы	Должность исполнителя
Разработка ТЗ на проектирование	1	Составление технической записки для НТИ	Дерюгин Е.Е. – руководитель; Проскурников Г.В. – студент-дипломник.
Проведение НТИ			
Выбор направления исследования	2	Изучение методики определения трещиностойкости	Проскурников Г.В.
	3	Выбор материала для проведения эксперимента	Проскурников Г.В.
	4	Планирование проведения эксперимента по испытанию титанового сплава.	Дерюгин Е.Е., Проскурников Г.В.,
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Установка и настройка необходимого оборудования.	Дерюгин Е.Е. Проскурников Г.В.
	6	Испытание титанового сплава BT1-0	Проскурников Г.В.
	7	Анализ полученных результатов, определение трещиностойкости сплава BT1-0, выводы	Проскурников Г.В.
Обобщение и оценка результатов	8	Оценка эффективности полученных результатов	Дерюгин Е.Е., Проскурников Г.В.
	9	Составление пояснительной записки	Проскурников Г.В.

4.4.1 Определение трудоемкости работ

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

$$t_{ож\ i} = \frac{3 \cdot t_{\min\ i} + 2 \cdot t_{\min\ i}}{5}.$$

где $t_{ож\ i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы, чел.-дн.;

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

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

Рассчитаем значение ожидаемой трудоёмкости работы:

Для установления продолжительности работы в рабочих днях используем формулу:

$$T_{pt} = \frac{t_{ож\ i}}{Ч_i}.$$

где T_{pt} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ож\ i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

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

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k.$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения одной работы, календ. дн.;

T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

k – коэффициент календарности, предназначен для перевода рабочего времени в календарное.

Коэффициент календарности рассчитывается по формуле:

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

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

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

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

Определим длительность этапов в рабочих днях и коэффициент календарности:

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

тогда длительность этапов в рабочих днях, следует учесть, что расчетную величину продолжительности работ $T_{\text{к}}$ нужно округлить до целых чисел. [17]

Результаты расчетов приведены в таблице 4.7.

4.4.2 Техническая готовность НТИ

Определение технической готовности научного исследования позволяет точно знать, на каком уровне выполнения находится определенный этап или работа. Показатель технической готовности НТИ характеризует отношение продолжительности работ, выполненных на момент исчисления этого показателя, к общей запланированной продолжительности работ, при этом следует учесть, что *период исследования* составляет примерно 6 месяцев, дипломник выступает в качестве основного исполнителя

Для начала следует определить удельное значение каждой работы в общей продолжительности работ:

$$Y_i = \frac{T_{pi}}{T_p} \cdot 100\%.$$

где Y_i – удельное значение каждой работы в %;

T_{pi} – продолжительность одной работы, раб.дн.;

T_p – суммарная продолжительность темы, раб.дн.

Тогда техническую готовность темы Γ_i , можно рассчитать по формуле:

$$\Gamma_i = \frac{\sum_{i=1} T_{pi}}{T_p} \cdot 100\%.$$

где $\sum T_{pi}$ – нарастающая продолжительность на момент выполнения i -той работы. [17]

Результаты расчетов приведены в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Временные показатели проведения НТИ

№ раб.	Исполнители	Продолжительность работ						
		t_{min} чел-дн.	t_{max} чел-дн	$t_{ож}$ чел-дн	T_p раб.дн	T_k кал.дн	Y_i , %	Γ_i , %
1	Дерюгин Е.Е., Проскурников Г.В.	1	3	2	1,2	3	1,72	1,05
2	Проскурников Г.В.	18	38	25	25	32	32,26	37,61
3	Проскурников Г.В.	6	13	11	2,8	7	5,50	47,71
4	Дерюгин Е.Е., Проскурников Г.В.	12	24	18	18	35	22,32	70,6
5	Дерюгин Е.Е., Проскурников Г.В.	4	18	8	4	6	3,92	81,26
6	Проскурников Г.В.	5	12	8	4,7	15	7,04	14,21
7	Проскурников Г.В.	1	9	4	0,87	4	6,30	88,91
8	Дерюгин Е.Е., Проскурников Г.В.	2	12	6	3,4	6	7,09	93,11
9	Проскурников Г.В.	2	9	5	4	9	5,99	100
ИТОГО						117		

4.4.3 Построение графика работ

Наиболее удобным и наглядным видом календарного плана работ является построение ленточного графика проведения ВКР в форме диаграмм Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. [18]

График строится в рамках таблицы 4.8 с разбивкой по месяцам и неделям (7 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике выделяются различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 4.8 – Календарный график проведения НИР

Этапы	Вид работы	Исполнители	T_k	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь
1	Составление и утверждение тех. задания	Дерюгин Е.Е., Проскурников Г.В.	2					
2	Изучение методик и поиск материалов по НИР	Проскурников Г.В.	36					
3	Выбор материала для проведения эксперимента	Проскурников Г.В.	4					
4	Планирование проведения эксперимента по испытанию титанового сплава.	Дерюгин Е.Е., Проскурников Г.В.	26					

Продолжение таблицы 4.8

[illegible]

 - руководитель, - студент-дипломник.

График выполнения работ по дням составлен с учетом всех выходных, предпраздничных и праздничных дней. Общее количество рабочих дней = 117, которые требуются на выполнение данного проектирования.

4.5 Расчет бюджета затрат на НИИ

Затраты представляют собой все производственные формы потребления денег и измеримых в денежном измерении материальных ценностей, которые служат непосредственной производственной целью.

Рассчитываем смету расходов, включая затраты на приобретение необходимого оборудования для разработки проекта и текущие расходы.

Затраты, образующие себестоимость продукции (работ, услуг), группируются в соответствии с их экономическим содержанием по следующим элементам:

$$K_{\text{проекта}} = I_{\text{мат}} + I_{\text{ам.техн}} + I_{\text{зп}} + I_{\text{соц.отч.}} + I_{\text{накл.расх}} + I_{\text{прочие}}.$$

Материальные затраты отражают стоимость приобретенных материалов и сырья, которые входят в состав вырабатываемой продукции, образуя ее основу, или являются необходимыми компонентами при изготовлении продукции. [18]

В данной работе использовалось 3 образца сплава ВТ1-0. Стоимость 1 кг материала 1600 руб. Вес одного образца 0,04 кг.

Стоимость 1 м² наждачной бумаги 120 руб. Затраты, при условии, что на исследовании требуется 0,5 м² бумаги, составили 60 руб.

Затраты на электролитическую обработку образца составили 200 руб.

Таблица 4.9 – Затраты на получение образцов

Стоимость 1 кг материала, руб.	1600
Вес образца, кг	0,04
Стоимость материала образцов, руб.	70
Стоимость наждачной бумаги, руб.	60
Затраты на электролитическую обработку, руб	200
Стоимость изготовления образца, руб.	300
Общие затраты на получение образца, руб.	3270

Для проведения научно-исследовательской работы требуются следующие виды оборудования: установка для испытаний Instron-5582, зеркальная фотокамера Pentax K-5 и компьютер.

Срок полезного использования каждого вида оборудования:

1) установка Instron-5582 и фотокамера – по пятой группе (оборудование испытательное): 10 лет.

2) Компьютер – по третьей группе (техника электронно-вычислительная): 5 лет. [19]

Рассчитываем материальные затраты ($I_{\text{мат}}$). Результаты расчета сведем в таблицу 11.

$$I_{\text{мат}} = I_{\text{исп. уст}} + I_{\text{кам}} + I_{\text{комп}} + I_{\text{обр}},$$

$$I_{\text{мат}} = 49000000 + 22000 + 28000 + 3270 = 4952130 \text{ руб.}$$

Таблица 4.10 – Материальные затраты

Материалы и оборудование	Ед. изм	Срок службы, год	Кол-во материала, ед	Цена за ед, руб	Затраты, руб
Испытательная установка Instron-5582	шт	10	1	4900000	4900000
Фотокамера Pentax K-5	шт	10	1	22000	22000
Компьютер	шт	5	1	28000	28000
Образец сплава ВТ1-0	шт	-	3	3270	3270
Итого:					4 953 270

Амортизация основных фондов – сумма амортизационных отчислений на полное восстановление основных производственных фондов, вычисленная исходя из их балансовой стоимости и утвержденных норм амортизации. Корректно при расчете затрат учитывать в году приобретения и в последующие годы только ту часть затрат, которая происходит от старения основных фондов в каждом году. [18]

Рассчитаем амортизацию оборудования техники $I_{\text{ам.обор}}$, по следующей формуле:

$$I_{\text{ам. обор}} = \left(\frac{T_{\text{исп. обор}}}{365} \right) \times K_{\text{обор}} \times H_{\text{а}}.$$

где $T_{\text{исп.обор}}$ – время использования оборудование;

365 дней – количество дней в году;

$K_{\text{обор}}$ – стоимость оборудования;

$H_{\text{а}}$ – норма амортизации.

$$H_a = \frac{1}{T_{\text{с.с. обор.}}}.$$

где $T_{\text{с.с. обор.}}$ – срок службы оборудования

$$I_{\text{ам. исп. уст}} = \left(\frac{T_{\text{исп. исп. уст}}}{365} \right) \cdot K_{\text{исп. уст.}} \cdot H_a = \left(\frac{1}{365} \right) \cdot 490000 \cdot \left(\frac{1}{10} \right) = 1342,5 \text{ руб.},$$

$$I_{\text{ам. кам}} = \left(\frac{T_{\text{исп. кам}}}{365} \right) \cdot K_{\text{кам}} \cdot H_a = \left(\frac{1}{365} \right) \cdot 22000 \cdot \left(\frac{1}{10} \right) = 6,01 \text{ руб.},$$

$$I_{\text{ам. комп}} = \left(\frac{T_{\text{исп. комп}}}{365} \right) \cdot K_{\text{комп}} \cdot H_a = \left(\frac{102}{365} \right) \cdot 28000 \cdot \left(\frac{1}{5} \right) = 1565 \text{ руб.},$$

$$\sum I_{\text{ам. обор}} = K_{\text{ам. исп. уст}} + K_{\text{ам. кам}} + K_{\text{ам. комп}} = 1342,5 + 6,01 + 1565 = 2913,51 \text{ руб.}$$

Результаты расчета сведем в таблицу 12.

Таблица 4.11 – Затраты на амортизацию оборудования

Наименование оборудования	К _{обор} , руб.	Т _{исп. обор} , дней.	И _{ам.обор} , руб
Испытательная установка Instron-5582	4900000	1	1342,5
Фотокамера Pentax К-5	22000	1	6,01
Компьютер	28000	102	1565
Итого:	2913,51		

Расчет заработной платы – заработная плата рассчитывается в соответствии с занятостью исполнителей, с учетом районного и тарифного коэффициентов исполнителей.

В состав затрат на оплату труда включаются:

- выплаты заработной платы за фактически выполненную работу;
- выплаты стимулирующего характера по системным положениям;
- выплаты по районным коэффициентам;
- компенсации за неиспользованный отпуск;
- другие виды выплат. [20]

Примем, что полный фонд заработной платы ($\Phi_{зп}$):

$$\Phi_{зп} = 28000 \text{руб.}$$

Отчисления на социальные нужды выражаются в виде единого социального налога, который включает в себя: обязательные отчисления по установленным законодательством нормам органам государственного социального страхования, пенсионного фонда, государственного фонда занятости и медицинского страхования.

Единый социальный налог – 27,1%.

Рассчитываем отчисления на социальные нужды ($I_{\text{соц.отч.}}$):

$$I_{\text{соц.отч.}} = \text{ЕСН} = 0,27 \cdot \Phi_{зп} = 0,27 \cdot 28000 = 7280 \text{руб.}$$

Накладные расходы используют на следующее:

- 1) затраты на текущий ремонт;
- 2) амортизацию основных производственных фондов;
- 3) затраты на охрану труда и пожарную безопасность.

Для проектных отделов накладные затраты составляют 200% от полного фонда заработной платы Тогда:

$$I_{\text{накл.расх.}} = 2 \cdot \Phi_{зп} = 2 \cdot 28000 = 56000 \text{руб.}$$

Прочие затраты – затраты, к которым относятся налоги, сборы, отчисления в специальные внебюджетные фонды, платежи по обязательному страхованию имущества, вознаграждения за изобретение и рационализаторские предложения, за подготовку кадров, оплата услуг связи и т.д. Эти затраты составляют 2% от всех издержек и вычисляются по формуле:

$$I_{\text{прочее}} = 0,02 \cdot (I_{\text{мат}} + \Phi_{зп} + I_{\text{ам.обор}} + \text{ЕСН}),$$

$$I_{\text{прочее}} = 0,02 \cdot (4953270 + 28000 + 2913,51 + 7280) = 99806,4702 \text{руб.}$$

Рассчитываем себестоимость проекта ($K_{\text{проекта}}$).

$$K_{\text{проекта}} = I_{\text{мат}} + \Phi_{зп} + I_{\text{ам.обор}} + I_{\text{соц.отч.}} + I_{\text{накл.расх.}} + I_{\text{прочее}},$$

$$\begin{aligned} K_{\text{проекта}} &= 4953270 + 28000 + 2913,51 + 7280 + 56000 + 99806,4702) = \\ &= 5147269,982 \text{руб.} \end{aligned}$$

Рассчитываем плановые накопления (ПР). Стоимость проекта включает в себя 30% прибыли, таким образом:

$$ПР = 0,3 \cdot K_{\text{проекта}} = 0,3 \cdot 5147269,982 = 1544180,99 \text{ руб.}$$

Рассчитываем стоимость проекта (Ц).

$$Ц = K_{\text{проекта}} + ПР = 5147269,982 + 1544180,99 = 6691450,972 \text{ руб.}$$

Стоит отметить, что при проведении исследования не потребовалось приобретать испытательную установку Instron и компьютер так как они уже имеются в ИФПМ СО РАН, следовательно, их стоимость вычитается из общего бюджета затрат.

$$Ц_{\text{ист}} = Ц - И_{\text{исп. уст}} - И_{\text{комп}},$$

$$Ц_{\text{ист}} = 6691451 - 4900000 - 28000 = 1763541 \text{ руб.}$$

В таблице 13 представлена смета затрат на НИР.

Таблица 4.12 – Смета затрат на научно-исследовательскую работу

Виды затрат	Обозначение	Сумма затрат, руб.
Материальные затраты	И _{мат}	4953270
Амортизация оборудования	И _{ам,обор}	2913,51
Затраты на оплату труда	ЗП	28000
Отчисления на социальные нужды	И _{соц.отч}	7280
Накладные расходы	И _{накл.расх}	56000
Прочие затраты	И _{прочие}	99806,47
Себестоимость проекта	K _{проекта}	5147269,98
Плановые накопления (прибыль)	ПР	1544181
Стоимость проекта (цена)	Ц	6691451
Истинная стоимость проекта (с вычетом цены исп. машины и ПК)	Ц _{ист}	1763541

Согласно расчетам, себестоимость выполнения данной НИР составляет 1763541 р., в которую входят затраты на заработную плату (28000 р.) социальные отчисления (7280 р.), амортизация оборудования (2913,51) и прочие накладные расходы (99806,47 р.).

4.6 Оценка ресурсоэффективности

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Данная научно-исследовательская работа финансируется за счет средств государственного бюджета и по характеру получаемых результатов относится к поисковым работам. Результаты данных работ, как правило, не заканчиваются созданием и промышленным внедрением новых видов материалов и средств изготовления продукции, поэтому оценивать её эффективность преждевременно

4.7 Определение научно-технического уровня исследования

Для оценки научной ценности, технической значимости и эффективности исследования необходимо: рассчитать коэффициент научно-технического уровня. Коэффициент НТУ рассчитывается при помощи метода балльных оценок, в котором каждому из признаков НТУ присваивается определенное число баллов по принятой шкале. Общую оценку приводят по сумме баллов по всем показателям с учетом весовых характеристик. Общая оценка рассчитывается по формуле:

$$HTU = \sum_{i=1}^n k_i \cdot P_i ,$$

где k_i – весовой коэффициент i – го признака;

P_i – количественная оценка i – го признака.

Таблица 4.13 – Весовые коэффициенты НТУ

Признаки НТУ	Весовой коэффициент
Уровень новизны	0.6
Теоретический уровень	0.4
Возможность реализации	0.2

Таблица 4.14 – Шкала оценки новизны

Баллы	Уровень
1-4	Низкий НТУ
5-7	Средний НТУ
8-10	Сравнительно высокий НТУ
11-14	Высокий НТУ

Таблица 4.15 – Значимость теоретических уровней

Характеристика значимости теоретических уровней	Баллы
Установка законов, разработка новой теории	10
Глубокая разработка проблем, многосторонний анализ, взаимозависимость между факторами	8
Разработка способа (алгоритм, устройство, программы)	6
Элементарный анализ связей между факторами (наличие гипотезы, объяснение версий, практические рекомендации)	2
Описание отдельных факторов (вещества, свойств, опыта, результатов)	0.5

Таблица 4.16 – Возможность реализации по времени и масштабам

<u>Время реализации</u>	Баллы
В течение первых лет	10
От 5 до 10 лет	4
Свыше 10 лет	2
<u>Масштабы реализации</u>	Баллы
Одно или несколько предприятий	2
Отрасль	4
Народное хозяйство	10

$$k_1 = 0.6, P_1 = 7, k_2 = 0.4, P_2 = 8,$$

$$k_3 = 0.2, P_3 = 10, k_4 = 0.2, P_4 = 4.$$

$$HTU = 0.6 \cdot 7 + 0.4 \cdot 8 + 0.2 \cdot 10 + 0.2 \cdot 4 = 10.2$$

По полученным результатам расчета коэффициента научно-технического уровня можно сделать вывод, что данный проект имеет хорошие показатели новизны, значимость теоретического уровня, и при этом используется в широком спектре отраслей за сравнительно небольшое время реализации.

Список публикаций

1. Проскурников Г. В., Дерюгин Е. Е. Определение трещиностойкости титанового сплава ВТ1-0 // Материалы и технологии новых поколений в современном материаловедении: сборник трудов международной конференции, Томск, 9 - 11 Июня 2016. - Томск: ТПУ, 2016 - С. 20-24.