



**Уральский  
федеральный  
университет**

имени первого Президента  
России Б.Н.Ельцина

**Нижнетагильский  
технологический  
институт (филиал)**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего  
образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента  
России Б.Н. Ельцина» (УрФУ)

Нижнетагильский технологический институт (филиал)

Программа вступительных испытаний в аспирантуру

1.1.8 Механика деформируемого твердого тела

стр. 1 из 9

УТВЕРЖДАЮ

Директор



В.В. Потанин

2022 г.

## ПРОГРАММА

ВСТУПИТЕЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ В АСПИРАНТУРУ

ПО НАУЧНОЙ СПЕЦИАЛЬНОСТИ

1.1.8 МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА

Нижний Тагил, 2022

## Содержание

1. Назначение и область применения.....	3
2. Содержание программы.....	3
3. Вопросы для вступительного испытания.....	5
4. Критерии оценки знаний претендентов на поступление в аспирантуру по научной специальности	
1.1.8 Механика деформируемого твердого тела.....	7
5. Список рекомендуемой литературы (основная и дополнительная).....	8
<i>Основная литература.....</i>	<i>8</i>
<i>Дополнительная литература.....</i>	<i>8</i>
6. Рекомендуемые Интернет-ресурсы.....	8

## 1. Назначение и область применения

Программа определяет требования к содержанию вступительных испытаний в аспирантуру по научной специальности 1.1.8 Механика деформируемого твердого тела.

Программа предназначена для подготовки к вступительному экзамену в аспирантуру по научной специальности 1.1.8 Механика деформируемого твердого тела.

Целью вступительного испытания является проверка способности и готовности претендента к обучению по программе подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре, выполнению профессиональных задач в сфере научной деятельности.

Вступительное испытание проводится в форме устного собеседования по билетам. В состав билета входит два вопроса из перечня, который доводится до сведения поступающих путем публикации программы на официальном сайте.

Требования к порядку планирования, организации и проведения вступительного испытания, к структуре и форме документов по его организации определены Правилами приема поступающих на обучение по программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре.

## 2. Содержание программы

Понятие сплошной среды (материального континуума). Гипотезы механики сплошных сред. Понятие о тензоре как математическом объекте. Тензоры 0-го, 1-го, 2-го и 3-го рангов, их структура, возможные формы представления через ковариантные, контрвариантные и смешанные компоненты. Симметричные и антисимметричные тензоры второго ранга. Фундаментальный метрический тензор. Силы в механике сплошных сред, теория напряжений.

Вектор полного напряжения как мера интенсивности внутренних сил. Тензор напряжений как характеристика напряженного состояния в точке сплошной среды. Главные площадки, главные оси тензора напряжений, главные напряжения. Инварианты тензора напряжений - основные и производные (среднее напряжение и интенсивность напряжений). Шаровой тензор напряжений и девиатор тензора напряжений. Внешние силы: объемные и поверхностные. Граничные условия в напряжениях. Условия равновесия материального континуума в объеме тела.

Понятие модели деформируемой среды, физического и механического поведения сплошных сред, определяющие уравнения, физические соотношения. Физическое поведение деформируемых сред, уравнение состояния, свойство сжимаемости. Механическое поведение деформируемых сред, свойства упругости, пластичности, вязкости. Понятие о склерономных и реономных свойствах деформируемых сред, свойства - релаксации и последействия. Простые модели сплошных сред, их определяющие уравнения, физические соотношения, термодинамические особенности,



**Уральский  
федеральный  
университет**

имени первого Президента  
России Б.Н.Ельцина  
**Нижнетагильский  
технологический  
институт (филиал)**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего  
образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента  
России Б.Н. Ельцина» (УрФУ)

Нижнетагильский технологический институт (филиал)

*Программа вступительных испытаний в аспирантуру*

*1.1.8 Механика деформируемого твердого тела*

*стр. 4 из 9*

примеры использования при моделировании взрывных и ударных процессов.

Модель идеальной жидкости или идеального газа, частные случаи модели - баротропная жидкость, совершенный газ. Вязкая жидкость, закон Навье-Стокса. Идеально упругая среда - обобщенный закон Гука и его частные проявления. Модуль объемного сжатия, модуль сдвига, модуль Юнга, коэффициент Пуассона и их взаимосвязь. Модель упругопластической среды. Идеализированные диаграммы механического поведения, идеальная упругопластическая среда, упругопластическая среда с упрочнением, жесткопластическая среда. Деформационная теория пластичности, прямые и обратные физические соотношения для процесса нагрузки упругопластической среды. Определяющие уравнения и физические соотношения для процесса разгрузки упругопластической среды. Условие пластичности и поверхность пластичности, критерий пластичности Мизеса. Теория пластического течения как более адекватная модель описания физико-механического поведения металлов при взрывном и ударном нагружении. Физические соотношения модели упругопластической среды по теории пластического течения, уравнения Прандтля-Рейсса. Соотношения Сен-Венана-Мизеса для несжимаемой жесткопластической среды как частный случай теории пластического течения.

Упругие, пластические и ударные волны в твердых телах. Соотношения Ренкина - Гюгонио. Ударная адиабата. Волны Рэлея. Фазовые переходы в твердых телах, полиморфизм железа, температурный и ударный фазовые переходы в стали. Структура ударных волн и волн разгрузки в железе (стали). Образование ударной волны разрежения.

Критерии макроскопического разрушения. Понятие поврежденности. Кинетическое уравнение поврежденности. Принцип линейного суммирования повреждений. Интеграл накопления повреждений. Флуктуационная кинетическая теория прочности, принцип температурно-временной суперпозиции, функция долговечности Журкова. NAG- модель для процесса множественного разрушения. Критерии механики рассеянных повреждений. Концентрация напряжений в вершине хрупкой трещины. Основные принципы решения плоских задач линейной теории упругости. Напряженно-деформированное состояние в вершине трещины. Классические условия хрупкого разрушения и распространения трещин, условие Гриффитса, критерий Ирвина. Модели трещин с немалой концевой зоной. Кинематика хрупких трещин отрыва, предельная скорость распространения хрупкой трещины, ветвление трещин. Масштабный эффект энергетической и статистической природы при разрушении.

Связь типов разрушения с механизмами распространения трещин. Феноменология вязкого разрушения для различных кристаллических решеток. Микромеханизм процесса вязкого разрушения для идеальной модели, влияние дефектов структуры, образования и слияния пор. Роль пластической деформации при разрушении, модели Орована и Ирвина для хрупкого разрушения пластичных материалов.

Работа пластической деформации как мера трещиностойкости материала. Модель упругопластической трещины Дагдейла. Характерные особенности и условия разрушения сколом. Влияние на разрушение сколом напряженного состояния, надреза.



Дислокационные модели зарождения скола.

Построение профиля волны разрежения. Откольное разрушение в волнах разрежения. Откольная прочность материалов, ее характеристики. Критерии откольной прочности. Фазовые отколы. Механизмы процессов разгрузки от трещин при их зарождении и распространении. Классификация конструкций боеприпасов с точки зрения оценки прочности. Порядок оценки прочности изделий. Расчетная схема конструкции. Силы, действующие на боеприпасы при их функционировании. Напряженно-деформированное состояние конструкции. Оценка прочности конструкций в соответствии с выбранным критерием прочности.

### **3. Вопросы для вступительного испытания**

1. Механические явления в твердых телах.
2. Реальное строение металлических кристаллов.
3. Дефекты кристаллической решетки.
4. Теоретическая прочность материала. Уравнение Орована.
5. Классификация типов разрушения.
6. Теория напряжений. Тензор напряжений. Инварианты тензора напряжений.
7. Шаровой тензор и девиатор напряжений.
8. Интенсивность напряжений. Параметры Лоде-Надаи.
9. Теория деформаций. Соотношения Коши. Логарифмическая деформация.
10. Инварианты тензора деформаций. Девиатор деформаций. Интенсивность деформаций.
11. Тензор скорости деформаций.
12. Плоское напряжение и плоское деформированное состояние. Поверхность текучести.
13. Обобщенный закон упругости
14. Теории пластичности. Деформационная теория пластичности.
15. Теории пластичности. Теория пластического течения.
16. Уравнения Прандтля-Рейса.
17. Уравнения Леви- Мизеса
18. Ассоциированный закон течения.
19. Модели деформирования твердых тел. Упругое, упруго-пластическое, жестко-пластическое тело.
20. Модели вязких тел.
21. Явление релаксации. Упруго-вязкое релаксируемое тело. Идеально пластически-вязкое тело.
22. Факторы, влияющие на прочность и пластичность твердых тел.
23. Основные принципы построения критериев прочности и пластичности.
24. Классические критерии прочности. Критерий наибольших нормальных напряжений.



25. Критерий наибольших линейных деформаций.
26. Критерий наибольших касательных напряжений.
27. Критерий максимальной удельной энергии формоизменения.
28. Критерии прочности для материалов, неодинаково сопротивляющихся растяжению и сжатию. Критерий Мора.
29. Критерий Баландина.
30. Критерий Смирнова-Аляева.
31. Критерий Шлейхера- Надаи. Критерий Давиденкова-Фримана.
32. Историческая справка по формированию критериев прочности.
33. Структурное упрочнение деформируемых твердых тел.
34. Деформационное упрочнение деформируемых твердых тел.
35. Концентрация напряжений
36. Напряженно-деформированное состояние в вершине трещины
37. Классические условия хрупкого разрушения и распространения трещин
38. Классические критерии Гриффитса и Ирвина.
39. Модели трещин с немалой концевой зоной. Модель хрупкой трещины Леонова — Панасюка.
40. Модели трещин с немалой концевой зоной. Модель хрупкой трещины Баренблатта.
41. Кинематика хрупких трещин отрыва
42. Масштабный эффект статистической и энергетической природы
43. Упругие и пластические ударные волны в твердых телах. Соотношения Ренкина — Гюгонио. Ударная адиабата.
44. Волны Рэлея.
45. Фазовые переходы в твердых телах, полиморфизм железа.
46. Температурный и ударный фазовый переход в стали. Структура ударных волн и волн разгрузки в металлах.
47. Связь типов разрушения с механизмами распространения трещин.
48. Микромеханизм процесса вязкого разрушения для идеальной модели, влияние дефектов структуры, образования и слияния пор.
49. Модели Орована и Ирвина для хрупкого разрушения пластичных материалов. Работа пластической деформации как мера трещиностойкости материала.
50. Модель упругопластической трещины Дагдейла. Характерные особенности и условия разрушения сколом. Влияние на разрушение сколом напряженного состояния, надреза.
51. Построение профиля волны разрежения. Откольное разрушение в волнах разрежения. Откольная прочность материалов, ее характеристики. Критерии откольной прочности. Фазовые отколы.
52. Механизмы процессов разгрузки от трещин при их зарождении и распространении. Классификация конструкций боеприпасов с точки зрения оценки прочности.
53. Порядок оценки прочности изделий. Расчетная схема конструкции. Силы, действующие на боеприпасы при их функционировании.

54. Напряженно-деформированное состояние конструкции. Оценка прочности конструкций в соответствии с выбранным критерием прочности.

**4. Критерии оценки знаний претендентов на поступление в аспирантуру по научной специальности 1.1.8 Механика деформируемого твердого тела**

Оценка ответов претендентов на поступление в аспирантуру по данному направлению производится по стобалльной шкале и выставляется согласно критериям, приведенным в таблице. Граница положительной оценки 30 (тридцать) баллов.

Критерии оценки претендентов на поступление в аспирантуру

Оценка	Критерий
81 - 100 баллов	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ответы на поставленные вопросы излагаются логично, последовательно и не требуют дополнительных пояснений.</li> <li>2. Демонстрируются глубокие знания по дисциплине.</li> <li>3. Делаются обоснованные выводы.</li> <li>4. Ответ самостоятельный, при ответе используются знания, приобретенные ранее.</li> </ol>
61 - 80 баллов	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ответы на поставленные вопросы излагаются систематизировано и последовательно.</li> <li>2. Демонстрируется умение анализировать материал, однако, не все выводы носят аргументированный и доказательный характер.</li> <li>3. Материал излагается уверенно, в основном правильно, даны все определения и понятия.</li> <li>4. Допущены небольшие неточности при выводах и использовании терминов.</li> </ol>
30 - 60 баллов	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Допускаются нарушения в последовательности изложения при ответе.</li> <li>2. Демонстрируются поверхностные знания дисциплины.</li> <li>3. Имеются затруднения с выводами.</li> <li>4. Определения и понятия даны не чётко.</li> </ol>
0 - 29 баллов	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Материал излагается непоследовательно, сбивчиво, не представляет определенной системе знаний по дисциплине.</li> <li>2. Не даны ответы на дополнительные вопросы комиссии.</li> <li>3. Допущены грубые ошибки в определениях и понятиях.</li> </ol>



## **5. Список рекомендуемой литературы (основная и дополнительная)**

### *Основная литература*

1. Селиванов В.В. Прикладная механика сплошных сред. Т.2. Механика разрушения деформируемого тела. -М.: МГТУ, 2006. - 424с.
2. Бабкин А.В., Селиванов В.В. Прикладная механика сплошных сред. Т.1. Основы механики сплошных сред. -М.: МГТУ, 2006. - 376с.
3. Бабкин А.В., Колпаков В.И., Охитин В.Н., Селиванов В.В. Прикладная механика сплошных сред. Т.3. Численные методы в задачах физики взрыва и удара. -М.: МГТУ, 2006. - 573с.

### *Дополнительная литература*

1. Селиванов В.В. Деформация и разрушение материалов. - М. : ЦНИИНТИ, 1981, 147 с.
2. Селиванов В.В. Механика деформируемого тела. - М. : ЦНИИНТИ, 1984, 167 с.
3. Седов Л.И. Механика сплошной среды, т.2 –М.: Наука, 1973.
4. Баллистические установки и их применение в экспериментальных исследованиях/ Н.А. Златин, А.П. Красильщиков, Г.И. Мишин, Н.Н. Попов- М.: Наука, 1974.
5. Брок Д. Основы механики разрушения. - М.: Высшая школа, 1980.
6. Качанов Л.М. Основы механики разрушения. – М.: Наука, 1974
7. В.В. Понасюк, А.Е. Андрейкив, В.З. Партон Механика разрушения и прочность материалов /Справ. Пособие/- Киев: Наукова думка, 1- 4 т., 1988.
8. Бабкин А.В., Колпаков В.И., Селиванов В.В. Прикладная механика сплошных сред. Т.3. Численные методы в задачах физики взрыва быстропротекающих процессов. -М.: МГТУ, 2006. - 520с.
9. Бабкин А.В., Селиванов В.В. Прикладная механика сплошных сред. Т.1. Основы механики сплошных сред. - М.: МГТУ, 1998. - 379с.
10. Селиванов В.В. Прикладная механика сплошных сред. Т.2. Механика разрушения деформируемого тела. -М.: МГТУ, 1999г.
11. Бабкин А.В., Колпаков В.И., Охитин В.Н., Селиванов В.В. Прикладная механика сплошных сред. Т.3. Численные методы в задачах физики взрыва и удара. -М.: МГТУ, 2001. - 573с.

## **6. Рекомендуемые интернет-ресурсы**

1. Антиплагиат (ЗАО «Анти-Плагиат»). Услуги по подключению и предоставлению доступа к электронным версиям научных баз данных Антиплагиат.ВУЗ)
2. ЭБС «Лань», ООО «Издательство «Лань» ([www.e.lanbook.com](http://www.e.lanbook.com))
3. ЭБС «Университетская библиотека онлайн», ООО «Директ-Медиа» ([www.biblioclub.ru](http://www.biblioclub.ru))
4. Сайт LS-DYNA Examples <http://www.dynaexamples.com/>
5. ЭБС IPR SMART <https://www.iprbookshop.ru/5858>



Программу вступительного испытания в аспирантуру по научной специальности  
1.1.8 Механика деформируемого твердого тела разработали:

Заведующий кафедрой «Специальное машиностроение»  
Член-корреспондент РАН, докт. техн. наук, доцент



Хмельников Е.А.

Доцент кафедры «Специальное машиностроение»  
канд. техн. наук, доцент



Юдинцев Д.В.