

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(НИ ТГУ)

Физико-технический факультет

УТВЕРЖДАЮ:
Декан ФТФ

Ю.Н. РЫЖИХ
06 20 22 г.



Рабочая программа дисциплины

Механика контактного взаимодействия и разрушения

по направлению подготовки

15.04.03 Прикладная механика

Направленность (профиль) подготовки :

Механика биокomпозитов, получение и моделирование их структуры и свойств

Форма обучения

Очная

Квалификация

Магистр

Год приема

2022


Код дисциплины в учебном плане: Б1.В.03

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОПОП

 Е.С. Марченко

Председатель УМК

 В.А. Скрипняк

Томск – 2022

1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

– ПК-2 – Способен самостоятельно выполнять научные исследования в области прикладной механики, решать сложные научно-технические задачи, которые для своего изучения требуют разработки и применения математических и компьютерных моделей, применения программных систем мультидисциплинарного анализа (CAE-систем мирового уровня);

– ПК-4 – Способен применять физико-математический аппарат, теоретические, расчетные и экспериментальные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИПК 2.1 Знать: математические и компьютерные модели, программные системы мультидисциплинарного анализа (CAE-системы мирового уровня), используемые для решения поставленных научно-технических задач.

ИПК 2.2 Уметь самостоятельно выполнять научные исследования в области прикладной механики, решать сложные научно-технические задачи, которые для своего изучения требуют разработки и применения математических и компьютерных моделей, применения программных систем мультидисциплинарного анализа (CAE-систем мирового уровня).

ИПК 2.3 Владеть навыками самостоятельного выполнения научных исследований в области прикладной механики, решения сложных научно-технических задач.

ИПК 4.1 Знать физико-математический аппарат, теоретические, расчетные и экспериментальные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования, применяемые в процессе профессиональной деятельности.

ИПК 4.2 Уметь применять физико-математический аппарат, теоретические, расчетные и экспериментальные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности.

ИПК 4.3 Владеть навыками применения физико-математического аппарата, теоретических, расчетных и экспериментальных методов исследования, методов математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности.

2. Задачи освоения дисциплины

– Освоить аппарат механики контактного взаимодействия и разрушения.

– Научиться применять понятийный аппарат механики контактного взаимодействия и разрушения для решения практических задач профессиональной деятельности.

3. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений, является обязательной для изучения.

4. Семестр(ы) освоения и форма(ы) промежуточной аттестации по дисциплине

Второй семестр, зачет с оценкой

Третий семестр, экзамен

5. Входные требования для освоения дисциплины

Для успешного освоения дисциплины требуются результаты обучения по следующим дисциплинам: Теория дефектов в описании биохимических систем.

Для успешного освоения дисциплины требуются компетенции, сформированные в ходе освоения образовательных программ предшествующего уровня образования.

6. Язык реализации

Русский

7. Объем дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 7 з.е., 252 часов, из которых:

-лекции: 36 ч.

-практические занятия: 46 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

8. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам

Тема 1. Основные положения механики контактного взаимодействия, классические контактные задачи теории упругости.

Современные проблемы контактного взаимодействия тел. Содержание курса и его связь с другими дисциплинами. Основные контактные задачи теории упругости. Действие сосредоточенной силы на острие клина (задача Мичелла), к точке прямолинейного края полубесконечной пластинки (задача Фламана), и на полупространство (задача Буссинеска). Действие равномерно распределённой нормальной нагрузки по площади круга на полупространство.

Тема 2. Теория Герца.

Вдавливание абсолютно жёсткого шара в упругое полупространство. Задача об упругом смятии шаров. Обобщение теории Герца сжатия упругих соприкасающихся тел. Задачи с множественным контактом.

Тема 3. Плоские контактные задачи теории упругости.

Давление штампа на полу-плоскость при отсутствии сил трения и при наличии сил трения. Давление движущегося штампа на полуплоскость. Контактные задачи при наличии износа и тепловыделения. Контактные задачи с учётом смазки.

Тема 4. Численное моделирование контактных задач.

Моделирование контактных задач в пакете ANSYS. Типы контактных пар, выбор специальных конечных элементов для двумерных и трёхмерных задач. Использование «мастера контактов». Решение задачи о вдавлении полусферы в опору. Моделирование контактных задач методами молекулярной динамики и подвижных клеточных автоматов.

Тема 5. Введение в механику разрушения.

Характерные масштабы деформирования и разрушения. Оценка теоретической прочности. Обзор элементарных дефектов. Классические критерии прочности. Простейшие задачи определения концентрации напряжений. Сферическая пора и сферическое включение иной фазы при всестороннем растяжении.

Тема 6. Линейная механика разрушения.

Напряжённое состояние у вершины трещины. Полубесконечная трещина. Метод комплексных потенциалов. Три типа трещин. Коэффициенты интенсивности напряжений. Методы расчётов коэффициентов интенсивности напряжений в упругих телах при различных условиях нагружения. Принцип суперпозиции решений. Силовой критерий локального разрушения. Вязкость разрушения (трещиностойкость) материала. Поток

энергии в вершину трещины. Энергетический критерий локального разрушения. Эквивалентность силового и энергетического критериев. Устойчивость и неустойчивость роста трещин. Траектория развития трещины. Трещины вблизи концентраторов напряжений. Остановка трещины.

Тема 7. Нелинейная механика разрушения.

Структура конца упруго-идеально-пластической трещины. Концепция квазихрупкого разрушения. Поправка Ирвина на пластическую деформацию. Другие критерии локального разрушения. Силы сцепления. Модель трещины Христиановича-Баренблата. Модель Леонова-Панасюка-Дагдейла. Модификация в модели Дагдейла. Влияние упрочнения. Инвариантный J-интеграл Эшелби-Черепанова-Райса. Экспериментальные методы определения вязкости разрушения (трещиностойкости) материала. Двухпараметрические критерии разрушения. Предел трещиностойкости материала. Особенности процесса ползучести, накопления поврежденности и развития трещин в условиях ползучести. Параметр поврежденности, модель Качанова-Работнова. Определяющие соотношения связанной и несвязанной постановок краевых задач в теории ползучести с поврежденностью. Особенности усталостного деформирования и разрушения. Многоцикловая и малоцикловая усталость. Рост трещин при циклическом нагружении. Эмпирическая формула Париса. Теоретические зависимости роста усталостных трещин. Усталостная долговечность.

Тема 8. Численные методы в механике разрушения.

Определение коэффициента интенсивности напряжений методом конечных элементов. Решение задач механики разрушения в пакете ANSYS. Использование параметра поврежденности при численном решении задач МДГТ с учётом разрушения. Эрозионная модель разрушения. Моделирование разрушения в дискретных методах (молекулярная динамика, метод мезочастиц, метод подвижных клеточных автоматов).

9. Текущий контроль по дисциплине

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости, частичного опроса обучающихся и разбора вызывающих трудность в понимании вопросов с использованием активных и интерактивных форм обучения во время семинарских занятий, выполнении индивидуальных заданий (рефератов) и фиксируется в форме контрольной точки не менее одного раза в семестр.

10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации

Зачет с оценкой проводится в письменной форме по билетам. Билет содержит расчётно-графическую работу. Продолжительность зачета 1 час.

Примеры расчётно-графических работ:

1. Решение задачи о вдавливании полусферы в опору в пакете ANSYS.
2. Решение задачи о вдавливании штампа методом подвижных клеточных автоматов.
3. Решение задачи о трении методом подвижных клеточных автоматов.

Результаты зачета определяются оценками «зачтено», «незачтено».

Экзамен проводится в письменной форме по билетам. Экзаменационный билет состоит из двух частей. Продолжительность экзамена 1,5 часа.

Первая часть содержит один вопрос, проверяющий ИПК-2.1, ИПК-4.1. Ответ на вопрос первой части дается в развернутой форме.

Вторая часть содержит один вопрос, проверяющий ИПК-2.2, ИПК-2.3, ИПК-4.2, ИПК-4.3. Ответ на вопрос второй части дается в развернутой форме.

Примерный перечень теоретических вопросов

1. Действие сосредоточенной силы на полупространство (задача Буссинеска).
2. Вдавливание абсолютно жёсткого шара в упругое полупространство.
3. Контактные задачи с учётом смазки.
4. Напряжённое состояние у вершины трещины в линейной механике разрушения.
5. Силовой критерий локального разрушения.
6. Энергетический критерий локального разрушения.

Результаты экзамена определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Формальные критерии итоговой оценки результатов обучения:

- текущий контроль – 5 баллов;
- индивидуальное задание в форме расчетно-графических работ – 25 баллов;
- контрольные работы – 20 баллов;
- экзамен – 50 баллов.

| неудовлетворительно | удовлетворительно | хорошо | отлично |
|---------------------|-------------------|----------------|-----------------|
| 0 – 59 баллов | 60 – 73 баллов | 74 – 87 баллов | 88 – 100 баллов |

11. Учебно-методическое обеспечение

а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «Moodle» – <https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=938>

б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

а) основная литература:

– Попов В.Л. Механика контактного взаимодействия и физика трения. От нанотрибологии до динамики землетрясений. — М.: Физматлит, 2013.— 352 с.

– Матвиенко Ю.Г. Модели и критерии механики разрушения. — М.: Физматлит, 2006. — 328 с.

– Колесников Е.В. Механика контактного разрушения / Ю. В. Колесников, Е. М. Морозов. – М: ЛКИ, 2013. – 224 с.

– Черепанов Г.П. Механика разрушения / Г.П. Черепанов. – М: ИКИ, 2012. – 872 с.

б) дополнительная литература:

– Лукьянова А.Н. Моделирование контактной задачи с помощью программы ANSYS: учеб.-метод. пособие. — Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2010. —52 с.

– Морозов Е.М., Муйземнек А.Ю., Шадский А.С. ANSYS в руках инженера: механика разрушения. Изд. 2-е испр. — М: ЛЕНАНД, 2010. — 456 с.

в) ресурсы сети Интернет:

– открытые онлайн-курсы

– Электронная библиотека «EqWorld – Мир математических уравнений» в Институте проблем механики РАН (<http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/mechanics.htm>).

– [TriboNet – https://www.tribonet.org/](https://www.tribonet.org/)

13. Перечень информационных технологий

а) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

- Программа Elastica (<http://www.asmec.de/en/analysis-software/elastica>);
- Программный комплекс ANSYS.

б) информационные справочные системы:

- Электронный каталог Научной библиотеки ТГУ –
<http://chamo.lib.tsu.ru/search/query?locale=ru&theme=system>
- Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ –
<http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index>

14. Материально-техническое обеспечение

Аудитории для проведения занятий лекционного типа.

Аудитории для проведения занятий семинарского типа, индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.

Помещения для самостоятельной работы, оснащенные компьютерной техникой и доступом к сети Интернет, в электронную информационно-образовательную среду и к информационным справочным системам.

Для проведения семинарских занятий и выполнения индивидуального расчетного задания требуется компьютерный класс ПЭВМ с микропроцессором не ниже Intel Core i3, объемом ПЗУ не меньше 200 ГБ, объемом ОЗУ не меньше 2 ГБ.

15. Информация о разработчиках

Смолин Алексей Юрьевич, д.ф.-м.н., профессор, профессор кафедры механики деформируемого твердого тела ТГУ.