



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

УТВЕРЖДАЮ
Директор ИММиМ
А.С. Савинов
20.02.2020 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

ОСНОВЫ ТЕОРИИ ПЛАСТИЧНОСТИ И РАЗРУШЕНИЯ

Направление подготовки (специальность)

15.05.01 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН И КОМПЛЕКСОВ

Направленность (профиль/специализация) программы

15.05.01 специализация N 3 "Проектирование металлургических машин и комплексов":

Уровень высшего образования - специалитет

Форма обучения
очная

| | |
|---------------------|---|
| Институт/ факультет | Институт металлургии, машиностроения и материалообработки |
| Кафедра | Проектирования и эксплуатации металлургических машин и оборудования |
| Курс | 5 |
| Семестр | 10 |

Магнитогорск
2019 год

Рабочая программа составлена на основе ФГОС ВО по специальности 15.05.01
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН И КОМПЛЕКСОВ (приказ
Минобрнауки России от 28.10.2016 г. № 1343)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры Проектирования
и эксплуатации металлургических машин и оборудования

20.02.2020 г., протокол № 7


Зав. кафедрой  А.Г. Корчунов

Рабочая программа одобрена методической комиссией ИММиМ


20.02.2020 г. протокол № 5

Председатель  А.С. Савинов

Рабочая программа составлена:

профессор кафедры ПиЭММиО, д-р техн. наук  Л.С. Белевский

Рецензент:

и.о. гл. механика ООО НПЦ "Гальва", канд. техн. наук  В.А. Русанов

Лист актуализации рабочей программы

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2020 - 2021 учебном году на заседании кафедры Проектирования и эксплуатации металлургических

Протокол от 31 08 2020 г. № 1
Зав. кафедрой А.Г. Корчунов

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2021 - 2022 учебном году на заседании кафедры Проектирования и эксплуатации металлургических

Протокол от _____ 20__ г. № __
Зав. кафедрой _____ А.Г. Корчунов

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2022 - 2023 учебном году на заседании кафедры Проектирования и эксплуатации металлургических

Протокол от _____ 20__ г. № __
Зав. кафедрой _____ А.Г. Корчунов

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2023 - 2024 учебном году на заседании кафедры Проектирования и эксплуатации металлургических

Протокол от _____ 20__ г. № __
Зав. кафедрой _____ А.Г. Корчунов

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2024 - 2025 учебном году на заседании кафедры Проектирования и эксплуатации металлургических

Протокол от _____ 20__ г. № __
Зав. кафедрой _____ А.Г. Корчунов

1 Цели освоения дисциплины (модуля)

Целями освоения дисциплины «Основы теории пластичности и разрушения» являются:

- формирование у студентов знаний в области теории пластичности и разрушения;
- владение методами исследования напряжений и смещений в пластически деформируемых телах, а также методами прогнозирования разрушения в пластически деформируемых телах.
- овладеть достаточным уровнем общепрофессиональных и профессиональных компетенций в соответствии с требованиями ФГОС ВО по специальности 15.05.01. «Проектирование технологических машин и комплексов», специализации «Проектирование металлургических машин и комплексов».

2 Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина Основы теории пластичности и разрушения входит в вариативную часть учебного плана образовательной программы.

Для изучения дисциплины необходимы знания (умения, владения), сформированные в результате изучения дисциплин/ практик:

- Математика
- Сопротивление материалов
- Физика
- Теоретическая механика

Знания (умения, владения), полученные при изучении данной дисциплины будут необходимы для изучения дисциплин/практик:

- Проектирование технологических машин и комплексов прокатного производства
- Проектирование систем гидро- и пневмопривода
- Проектирование металлургических подъемно-транспортных машин
- Подготовка к защите и защита выпускной квалификационной работы

3 Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (модуля) и планируемые результаты обучения

В результате освоения дисциплины (модуля) «Основы теории пластичности и разрушения» обучающийся должен обладать следующими компетенциями:

| Структурный элемент компетенции | Планируемые результаты обучения |
|---------------------------------|--|
| | ПК-12 способностью обеспечивать моделирование машин, электроприводов, гидроприводов, средств гидропневмоавтоматики, систем, различных комплексов, процессов, оборудования и технических объектов и технологических процессов с использованием стандартных пакетов и средств автоматизированного проектирования, проводить эксперименты по заданным методикам с обработкой и анализом результатов |

| | |
|---------|---|
| Знать | <ul style="list-style-type: none"> - механизмы упругой и пластической деформации; - величины, характеризующие напряженное состояние тела; - величины, характеризующие деформацию тела; - условия пластичности; - основные гипотезы теории пластичности и их использование для анализов процессов деформирования; - физические основы разрушения металлов; - связь разрушения с пластической деформацией; - элементы теории дислокаций; - механизмы зарождения трещин |
| Уметь | <ul style="list-style-type: none"> - использовать полученные знания для анализов процессов деформирования; - использовать полученные знания для прогнозирования разрушения металла |
| Владеть | <ul style="list-style-type: none"> - методами теоретического анализа процессов деформирования; - методами прогнозирования разрушения металла при различных процессах деформирования |

4. Структура, объём и содержание дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единиц 108 акад. часов, в том числе:

- контактная работа – 81,7 акад. часов;
- аудиторная – 80 акад. часов;
- внеаудиторная – 1,7 акад. часов
- самостоятельная работа – 26,3 акад. часов;

Форма аттестации - зачет

| Раздел/ тема дисциплины | Семестр | Аудиторная контактная работа (в акад. часах) | | | Самостоятельная работа студента | Вид самостоятельной работы | Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации | Код компетенции |
|--|---------|--|-----------|-------------|---------------------------------|--|---|-----------------|
| | | Лек. | лаб. зан. | практ. зан. | | | | |
| 1. Основы теории пластичности и разрушения | | | | | | | | |
| 1.1 Введение. Основы теории пластичности и разрушения. Научная основа создания новых конструкций и технологических процессов. Основные проблемы теории пластичности и разрушения. Значение курса основы теории пластичности и разрушения для инженерного | 10 | 3 | | 6/2И | 2,3 | Изучение и повторение теоретического материала, выполнение практической работы | Практическая работа №1 | ПК-12 |

| | | | | | | | | |
|---|--|---|--|------|---|--|-------------------------|-------|
| <p>1.2 Теория напряжений и деформаций. Общее представление о механизмах упругой и пластической деформации. Величины, характеризующие напряженное состояние тела. Напряжения на наклонной площадке. Главные нормальные напряжения. Максимальные касательные напряжения. Октаэдрические напряжения. Геометрическое изображение напряженного состояния. (Диаграмма напряжений Мора). Инварианты тензора напряжений. Условия равновесия для объёмного напряжённого состояния.</p> | | 5 | | 6/2И | 4 | Изучение и повторение теоретического материала, выполнение практической работы | Практическая работа №2 | ПК-12 |
| <p>1.3 Величины, характеризующие деформацию тела. Уравнения совместности или неразрывности деформаций. Скорости перемещений и скорости деформаций. Связь между напряжением и деформацией. Плоское напряженное состояние и плоская деформация. Осесимметричное напряженное состояние.</p> | | 4 | | 6/2И | 4 | Изучение и повторение теоретического материала, выполнение практической работы | Практическая работа №3 | ПК-12 |
| <p>1.4 Условие пластичности. Энергетическое условие пластичности. Геометрический смысл энергетического условия пластичности. Частные выражения условия пластичности. Влияние среднего по величине главного нормального</p> | | 5 | | 6/2И | 4 | Изучение и повторение теоретического материала, выполнение практической работы | Практическая работа №4. | ПК-12 |

| | | | | | | | | |
|--|--|---|--|------|---|--|-------------------------|-------|
| <p>1.5 Основные предпосылки анализа процессов деформирования. Основные гипотезы теории пластичности и их использование для анализов процессов деформирования. Уравнения пластического течения. Принцип подобия. Принцип наименьшего сопротивления. Механизмы зарождения трещин. Виды разрушения. Терминология, связанная с изучением пластичности и разрушения металлов. Методы прогнозирования разрушения металла.</p> | | 5 | | 8/2И | 4 | Изучение и повторение теоретического материала, выполнение практической работы | Практическая работа №5 | ПК-12 |
| <p>1.6 Методы теоретического анализа процессов деформирования. Задачи теоретического анализа. Решение дифференциальных уравнений равновесия совместно с условием пластичности. Метод линий скольжения. Метод баланса работ. Вариационные методы. Прогнозирование разрушения металла и определение запаса пластичности при различных процессах деформирования (продольная прокатка, волочение, холодная объёмная и листовая штамповка).</p> | | 5 | | 8/4И | 4 | Изучение и повторение теоретического материала, выполнение практической работы | Практическая работа №6. | ПК-12 |
| <p>1.7 Физические основы разрушения металлов. Основные понятия. Теория Гриффитса. Классификация трещин. Механизмы зарождения микротрещин. Дислокационные и диффузионные механизмы зарождения микротрещин. Элементы теории дислокаций. Типы дислокаций. Переползание дислокаций. Вектор Бюргерса. Возникновение и размножение дислокаций. Взаимодействие дислокаций</p> | | 5 | | 8/4И | 4 | Изучение и повторение теоретического материала, выполнение практической работы | Практическая работа №7 | ПК-12 |

| | | | | | | | |
|---------------------|----|--|--------|------|--|-------|-------|
| Итого по разделу | 32 | | 48/18И | 26,3 | | | |
| Итого за семестр | 32 | | 48/18И | 26,3 | | зачёт | |
| Итого по дисциплине | 32 | | 48/18И | 26,3 | | зачет | ПК-12 |

5 Образовательные технологии

Для реализации предусмотренных видов учебной работы в качестве образовательных технологий в преподавании дисциплины «Основы теории пластичности и разрушения» используются традиционная и модульно-компетентностная технологии. В процессе изучения дисциплины используются информационные технологии, которые формируют и развивают профессиональные навыки. Учебным планом для освоения дисциплины предусмотрено 18 часов интерактивных занятий.

Лекции проходят в традиционной форме, в форме информационной лекции. При проведении лекций особое внимание уделяется взаимосвязи рассматриваемых тем и вопросов с действующими гостями. Полное овладение требованиями данных гостей необходимо будет студентам при их дальнейшей самостоятельной практической деятельности на самых разнообразных предприятиях машиностроительной и металлургической отрасли.

Практические занятия проводятся в интерактивной форме (18 ч.). В рамках интерактивного обучения применяются ИТ-методы (использование сетевых мультимедийных учебников разработчиков программного обеспечения, электронных образовательных ресурсов по данной дисциплине). При проведении практических занятий используются работа в команде и методы ИТ, в достаточном объеме используются имеющиеся модели, образцы и элементы различного оборудования, плакаты, фотографии и раздаточные материалы. Практические занятия посвящены освоению конкретных умений и навыков предполагаемых данной дисциплиной.

6 Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Представлено в приложении 1.

7 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

Представлены в приложении 2.

8 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

а) Основная литература:

1. Шагивалиева, Г. Н. Основы пластической деформации при обработке металлов давлением : учебное пособие / Г. Н. Шагивалиева, С. М. Головизнин ; МГТУ. - Магнитогорск : МГТУ, 2018. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). - URL: <https://magtu.informsystema.ru/uploader/fileUpload?name=3602.pdf&show=dcatalogues/1/1524553/3602.pdf&view=true> (дата обращения: 01.10.2019). - Макрообъект. - Текст : электронный. - ISBN 978-5-9967-1194-9.

б) Дополнительная литература:

1. Белан, А. К. Проектирование и исследование механизмов металлургических машин : учебное пособие / А. К. Белан, Е. В. Куликова, О. А. Белан ; МГТУ. - Магнитогорск : МГТУ, 2018. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). - URL: <https://magtu.informsystema.ru/uploader/fileUpload?name=3520.pdf&show=dcatalogues/1/1514338/3520.pdf&view=true> (дата обращения: 01.10.2019). - Макрообъект. - Текст : электронный. - ISBN 978-5-9967-1113-0.

2. Румянцев, М. И. Обработка металлов давлением и характеристики качества продукции : учебное пособие / М. И. Румянцев, Н. М. Локотунина, А. Б. Моллер ; МГТУ. - Магнитогорск : МГТУ, 2013. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). - URL: <https://magtu.informsystema.ru/uploader/fileUpload?name=1394.pdf&show=dcatalogues/1/1123849/1394.pdf&view=true> (дата обращения: 01.10.2019). - Макрообъект. - Текст : электронный.

3. Чукин, М. В. Теория и технология производства композиционных

материалов. Механика разрушения композиционных материалов : учебное пособие / М. В. Чукин, М. А. Полякова, М. П. Барышников ; МГТУ, [каф. МиМТ]. - Магнитогорск, 2010. - 133 с. : ил., табл. - URL: <https://magtu.informsystema.ru/uploader/fileUpload?name=335.pdf&show=dcatalogues/1/1074126/335.pdf&view=true> (дата обращения: 01.10.2019)

4. Шемшурова, Н. Г. Обработка металлов давлением (общий курс) : учебное пособие / Н. Г. Шемшурова, Д. О. Пустовойтов ; МГТУ. - Магнитогорск, 2013. - 142 с. : ил., схемы, табл. - URL: <https://magtu.informsystema.ru/uploader/fileUpload?name=618.pdf&show=dcatalogues/1/1107823/618.pdf&view=true> (дата обращения: 01.10.2019). - Макрообъект. - Текст : электронный. - ISBN 978-5-9967-0381-4.

в) Методические указания:

1. Жиркин, Ю. В. Монтаж металлургических машин : практикум / Ю. В. Жиркин, А. В. Анцупов ; МГТУ. - Магнитогорск : МГТУ, 2017. - 59 с. : ил., табл., схемы, эскизы, фот. – URL: <https://magtu.informsystema.ru/uploader/fileUpload?name=3633.pdf&show=dcatalogues/1/1524754/3633.pdf&view=true> (дата обращения: 01.10.2019). - Макрообъект. - Текст : электронный. – Макрообъект.

2. Жиркин, Ю. В. Эксплуатация металлургических машин : практикум / Ю. В. Жиркин ; МГТУ. - Магнитогорск : МГТУ, 2017. - 51 с. : ил., табл. - URL: <https://magtu.informsystema.ru/uploader/fileUpload?name=3259.pdf&show=dcatalogues/1/1137142/3259.pdf&view=true> (дата обращения: 01.10.2019). - Макрообъект. - Текст : электронный.

г) Программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

1. ГОСТы ЕСКД [Электронный ресурс]: портал нормативных документов. - Режим доступа: <http://www.opengost.ru>

2. ГОСТы ЕСКД [Электронный ресурс]: открытая база ГОСТов. - Режим доступа: <http://www.standartgost.ru>

3. ГОСТы ЕСКД [Электронный ресурс]: Библиотека ГОСТов и нормативных документов. - Режим доступа: <http://www.libgost.ru>.

Программное обеспечение

| Наименование ПО | № договора | Срок действия лицензии |
|--|------------------------------|------------------------|
| MS Windows 7 Professional(для классов) | Д-1227-18 от 08.10.2018 | 11.10.2021 |
| MS Windows 7 Professional (для классов) | Д-757-17 от 27.06.2017 | 27.07.2018 |
| MS Office 2007 Professional | № 135 от 17.09.2007 | бессрочно |
| 7Zip | свободно распространяемое ПО | бессрочно |
| АСКОН Компас 3D в.16 | Д-261-17 от 16.03.2017 | бессрочно |
| MS Windows 10 Professional (для классов) | Д-1227-18 от 08.10.2018 | 11.10.2021 |
| MS Windows XP Professional(для классов) | Д-1227-18 от 08.10.2018 | 11.10.2021 |

| | | |
|-------------|------------------------------|-----------|
| FAR Manager | свободно распространяемое ПО | бессрочно |
|-------------|------------------------------|-----------|

Профессиональные базы данных и информационные справочные системы

| Название курса | Ссылка |
|---|---|
| Национальная информационно-аналитическая система – Российский индекс научного цитирования | URL: https://elibrary.ru/project_risc.asp |
| Поисковая система Академия Google (Google Scholar) | URL: https://scholar.google.ru/ |
| Федеральное государственное бюджетное учреждение «Федеральный институт промышленной собственности» | URL: http://www1.fips.ru/ |
| Российская Государственная библиотека. Каталоги | https://www.rsl.ru/ru/4readers/catalogues/ |
| Электронные ресурсы библиотеки МГТУ им. Г.И. Носова | http://magtu.ru:8085/marcweb2/Default.asp |
| Международная наукометрическая реферативная и полнотекстовая база данных научных изданий «Web of science» | http://webofscience.com |
| Международная реферативная и полнотекстовая справочная база данных | http://scopus.com |
| Международная база полнотекстовых журналов Springer Journals | http://link.springer.com/ |
| Международная база научных материалов в области физических наук и инжиниринга | http://materials.springer.com/ |

9 Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Материально-техническое обеспечение дисциплины включает:

1. Аудитория для лекционных занятий: мультимедийные средства хранения, передачи и предоставления информации.
 2. Учебные аудитории для проведения практических занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации: персональные компьютеры с пакетом MS Office, выходом в Интернет и с доступом в электронную информационно-образовательную среду университета
 3. Помещения для самостоятельной работы обучающихся: персональные компьютеры с пакетом MS Office, КОМПАС 3D V16, выходом в Интернет и с доступом в электронную информационно-образовательную среду университета
 4. Помещение для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования: стеллажи для хранения учебного оборудования.
- Шкафы для хранения учебно-методической документации, учебного оборудования и учебно-наглядных пособий.

6 Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа студентов направлена на закрепление теоретического материала, изложенного преподавателем, на проработку тем, отведенных на самостоятельное изучение, на подготовку к практическим занятиям, подготовку к зачету по дисциплине.

| Раздел/ тема дисциплины | Вид самостоятельной работы | Кол-во часов | Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации |
|--|--|--------------|---|
| 1. Основы теории пластичности и разрушения | | | |
| 1.1 Введение Основы теории пластичности и разрушения | Работа с лекционным материалом, самостоятельное изучение учебной литературы. Подготовка к практической работе №1 | 2,3 | Практическая работа №1 |
| 1.2 Теория напряжений и деформаций | Работа с лекционным материалом, самостоятельное изучение учебной литературы. Подготовка к практической работе №2 | 4 | Практическая работа №2 |
| 1.3 Величины, характеризующие деформацию тела. | Работа с лекционным материалом, самостоятельное изучение учебной литературы. Подготовка к практической работе №3 | 4 | Практическая работа №3 |
| 1.4 Условие пластичности | Работа с лекционным материалом, самостоятельное изучение учебной литературы. Подготовка к практической работе №4 | 4 | Практическая работа №4 |
| 1.5 Основные предпосылки анализа процессов деформирования | Работа с лекционным материалом, самостоятельное изучение учебной литературы. Подготовка к практической работе №5 | 4 | Практическая работа №5 |
| 1.6 Методы теоретического анализа процессов деформирования Задачи теоретического анализа. | Работа с лекционным материалом, самостоятельное изучение учебной литературы. Подготовка к практической работе №6 | 4 | Практическая работа №6 |
| 1.7 Физические основы разрушения металлов | Работа с лекционным | 4 | Практическая |

| Раздел/ тема дисциплины | Вид самостоятельной работы | Кол-во часов | Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации |
|----------------------------|--|--------------|---|
| | материалом, самостоятельное изучение учебной литературы. Подготовка к практической работе №7 | | работа №7 |
| Итого по дисциплине | | 26,3 | Итоговый контроль (зачет) |

Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины:

Самостоятельная работа в ходе аудиторных занятий предполагает: изучение и повторение теоретического материала по темам лекций (по конспектам и учебной литературе, методическим указаниям), решение задач, выполнение индивидуальных работ.

Самостоятельная работа под контролем преподавателя предполагает подготовку конспектов и выполнение необходимых расчетов по разделам дисциплины, решение и проверка преподавателем работ, работа с методической литературой.

Внеаудиторная самостоятельная работа студентов предполагает подготовку к практическим занятиям, изучение необходимых разделов в конспектах, учебных пособиях и методических указаниях; работа со справочной литературой, исправление ошибок, замечаний; работу с компьютерными пакетами и электронными учебниками разработчиков программного обеспечения по дисциплине.

По данной дисциплине предусмотрены различные виды контроля результатов обучения: *текущий* контроль (проверка выполнения заданий и работы с учебной литературой), *периодический* контроль по каждой теме дисциплины, практические работы, *итоговый* контроль в виде зачета.

Примерные аудиторные контрольные работы (АКР):

2.4. Влияние среднего по величине главного нормального напряжения

Пусть главное нормальное напряжение σ_2 имеет величину, промежуточную между σ_1 и σ_3 , т. е. удовлетворяется какое-либо из двух неравенств

$$\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3 \text{ или } \sigma_1 < \sigma_2 < \sigma_3. \quad (2.13)$$

Такое по величине напряжение σ_2 будем называть средним главным и обозначим $\sigma_{ср}$ [$\sigma_{ср}$ не следует смешивать со средним нормальным напряжением $\sigma_{ср} = \frac{1}{3}(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)$]. Напряжения σ_1 и

σ_3 в этом случае будут крайними (одно из них максимальное, другое минимальное). Для установления, какое из напряжений является средним главным, надо учитывать знаки напряжений, а не только их абсолютную величину: положительное напряжение считается большим вне зависимости от абсолютной величины отрицательного напряжения; отрицательное напряжение с меньшей абсолютной величиной больше отрицательного с большей абсолютной величиной, т. е. рассматривается алгебраическая величина напряжения.

Возьмем случай, когда $\sigma_2 = \sigma_{ср} = \sigma_1$; тогда из условия пластичности (2.3) получим

$$(\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 = 2\sigma_s^2, \text{ откуда}$$

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \pm\sigma_s \text{ или } \tau_{13} = \pm\frac{1}{2}\sigma_s. \quad (2.14)$$

Знаки \pm поставлены потому, что σ_3 считается существенно положительным, а разность $\sigma_1 - \sigma_3$ согласно условию (2.13) может иметь любой знак.

Пусть теперь $\sigma_2 = \sigma_{ср} = \sigma_3$. Тогда, подставляя в уравнение (2.3), имеем

$$\sigma_x = 666,67 \text{ МПа}, \sigma_z = 133,33 \text{ МПа}.$$

Пример 4. Определить напряжённое и деформированное состояние стального кубика с рёбрами $a = 0,01$ м, который вставлен в щель без зазора и натяга (рис.1.22). Плита со щелью выполнена из недеформируемого материала. Трение кубика о стенки отсутствует. Кубик на верхней площадке нагружен давлением $p = 1000$ МПа, модуль пластичности $E = 2 \cdot 10^4$ МПа, коэффициент Пуассона $m = 0,5$.

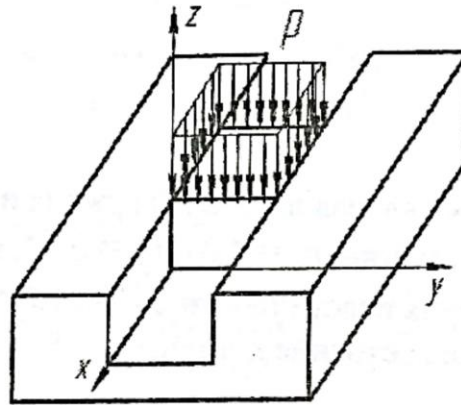


Рис. 1.22. К решению примера 4

Решение.

В уравнениях (1.54) известными величинами будут $\sigma_z = -p$, $\sigma_x = 0$, $\varepsilon_y = 0$; а неизвестными σ_y , ε_x , ε_z . Подставляя известные величины в систему уравнение (1.54) получим

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E} \cdot 0,5(p - \sigma_y);$$

$$0 = \sigma_y +$$

$$\varepsilon_z = \frac{1}{E} \cdot (-p - 0,5\sigma_y).$$

Решая эту систему, получим

$$\sigma_y = -500 \text{ МПа}; \varepsilon_x = 0,0375; \varepsilon_z = -0,0375.$$

Касательные напряжения на всех площадках равны нулю, т. к. на площадках z и x отсутствует внешняя сдвигающая нагрузка, а на площадке y отсутствует трение и сдвигающая сила.

Пример 2. Напряжённое состояние задано тензором напряжений (в МПа)

$$T_{\sigma} = \begin{vmatrix} 400 & 0 \\ * & -1000 \\ * & * & - \end{vmatrix},$$

относительная деформация по оси 1 – $\varepsilon_1 = 0,15$.

Определить:

1. Относительные деформации ε_2 и ε_3 и главные сдвиги.
2. Модуль пластичности E' и модуль сдвига G' .
3. Интенсивность деформаций ε_i и интенсивность деформаций сдвига γ_i .

Решение.

1. Находим среднее напряжение:

$$\sigma_{\text{ср}} = \frac{4 - 10 - 27}{3} \cdot 10^2 = -11 \cdot 10^2 \text{ МПа.}$$

Девiator напряжений (см. 1. 36а)

$$D_{\sigma} = \begin{vmatrix} 1500 & 0 \\ * & 100 \\ * & * & - \end{vmatrix}$$

Относительные деформации по осям 2 и 3

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_1 \frac{\sigma_2 - \sigma_{\text{ср}}}{\sigma_1 - \sigma_{\text{ср}}} = 0,15 \cdot \frac{100}{1500} = \quad \varepsilon_3 = \varepsilon_1 \frac{-1600}{1500} =$$

Главные сдвиги (см. 1.41)

$$\gamma_{12} = \varepsilon_1 - \varepsilon_2 = 0,14; \quad \gamma_{23} = \varepsilon_2 - \varepsilon_3 = 0,17; \quad \gamma_{31} = \varepsilon_3 - \varepsilon_1 = -0,31.$$

Сумма деформаций (см. 1,42 – 1,44):

$$\begin{aligned} \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 &= 0,15 + 0,01 - 0,16 = 0; \\ \gamma_{12} + \gamma_{23} + \gamma_{31} &= 0,14 + 0,17 - 0,31 = 0. \end{aligned}$$

2. Модуль пластичности (см. 1.55)

Примерные индивидуальные домашние задания (ИДЗ):

2.4. Влияние среднего по величине главного нормального напряжения

Пусть главное нормальное напряжение σ_2 имеет величину, промежуточную между σ_1 и σ_3 , т. е. удовлетворяется какое-либо из двух неравенств

$$\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3 \text{ или } \sigma_1 < \sigma_2 < \sigma_3. \quad (2.13)$$

Такое по величине напряжение σ_2 будем называть средним главным и обозначим $\sigma_{ср}$ [$\sigma_{ср}$ не следует смешивать со средним нормальным напряжением $\sigma_{ср} = \frac{1}{3}(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)$]. Напряжения σ_1 и

σ_3 в этом случае будут крайними (одно из них максимальное, другое минимальное). Для установления, какое из напряжений является средним главным, надо учитывать знаки напряжений, а не только их абсолютную величину: положительное напряжение считается большим вне зависимости от абсолютной величины отрицательного напряжения; отрицательное напряжение с меньшей абсолютной величиной больше отрицательного с большей абсолютной величиной, т. е. рассматривается алгебраическая величина напряжения.

Возьмем случай, когда $\sigma_2 = \sigma_{ср} = \sigma_1$; тогда из условия пластичности (2.3) получим

$$(\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 = 2\sigma_s^2, \text{ откуда}$$

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \pm\sigma_s \text{ или } \tau_{13} = \pm\frac{1}{2}\sigma_s. \quad (2.14)$$

Знаки \pm поставлены потому, что σ_3 считается существенно положительным, а разность $\sigma_1 - \sigma_3$ согласно условию (2.13) может иметь любой знак.

Пусть теперь $\sigma_2 = \sigma_{ср} = \sigma_3$. Тогда, подставляя в уравнение (2.3), имеем

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \pm \sigma_s \text{ или } \tau_{13} = \pm \frac{1}{2} \sigma_s,$$

т. е. опять получили выражение (2.14), что и в предыдущем случае. Эти зависимости словесно можно формулировать так.

При среднем главном нормальном напряжении, равном одному из крайних, пластическое состояние наступает, если разность крайних главных нормальных напряжений равна напряжению текучести или если соответствующее главное касательное напряжение равно половине напряжения текучести.

Среднее главное нормальное напряжение $\sigma_2 = \sigma_{сг}$ может изменяться лишь в пределах между σ_1 и σ_3 (в противном случае оно само станет крайним, а какое-то другое — промежуточным). Возьмем теперь среднее значение σ_2 :

$$\sigma_2 = \sigma_{сг} = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}.$$

В этом случае напряжение σ_2 не только удовлетворяет неравенству (2.13), но и является средним нормальным напряжением вообще:

$$\sigma_2 = \sigma_{сг} = \sigma_{ср} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3} = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2},$$

а деформированное состояние — плоским. Подставляя это значение σ_2 в условие пластичности (2.3), получим

$$\left(\sigma_1 - \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} - \sigma_3 \right)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 = 2\sigma_s^2,$$

откуда

$$\frac{3}{2}(\sigma_1 - \sigma_3)^2 = 2\sigma_s^2$$

и, наконец, как и раньше (2.10),

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \pm \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_s.$$

Из сравнения выражений (2.14) и (2.10) следует, что для любого значения $\sigma_2 = \sigma_{сг}$ можно написать

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \pm \beta \sigma_s \quad (2.15)$$

или

$$\sigma_{\max} - \sigma_{\min} = \beta \sigma_s, \quad (2.15a)$$

где β - переменный коэффициент, изменяющийся в незначительных пределах: от 1 до $\frac{2}{\sqrt{3}} = 1,155$ и достигающий наибольшей величины при плоском деформированном состоянии. Этот коэффициент называют коэффициентом Лоде по имени учёного, экспериментально проверившего условие пластичности

Уравнение (2.15) является упрощенной записью условия пластичности. Им можно пользоваться при рассмотрении объемного напряженного состояния как приближенным, но более простым, чем условие (2.3). Выражая же разность главных нормальных напряжений через главное касательное напряжение, получим

$$\tau_{13} = \pm \frac{1}{2} \beta \sigma_s. \quad (2.15b)$$

Понятно, что поскольку напряжения σ_1 , σ_2 и σ_3 равноправны, постольку можно написать неравенства (2.13) при любых других комбинациях индексов, отчего все дальнейшие выводы не изменятся.

При решении же конкретных задач необходимо выбирать индексы, соответствующие условиям задачи, т. е. выяснять, какое главное нормальное напряжение является средним и какие — крайними.

Упрощенной записью условия пластичности можно пользоваться и при рассмотрении задач на плоское напряженное состояние. Но здесь надо учитывать напряжение $\sigma_2 = 0$, которое может быть и крайним, и средним. Если напряжения σ_1 и σ_3 имеют разные знаки, т. е. $\sigma_1 \sigma_3 < 0$, то напряжение σ_2 является средним. Если же σ_1 и σ_3 положительны ($\sigma_1 \sigma_3 > 0$), то σ_2 минимальное; если σ_1 и σ_3 отрицательны ($\sigma_1 \sigma_3 > 0$), то σ_2 максимальное, или вообще, если $\sigma_1 \sigma_3 > 0$, то σ_2 будет крайним.

Если для всех случаев принять $\beta = 1$ (т. е. не учитывать влияния среднего главного нормального напряжения), то условие пластичности для общего случая выразится так:

$$\sigma_1 - \sigma_2 = \pm \sigma_s, \quad \sigma_2 - \sigma_3 = \pm \sigma_s, \quad \sigma_3 - \sigma_1 = \pm \sigma_s; \quad (2.16)$$

или

$$\tau_{12} = \pm \frac{1}{2} \sigma_s; \quad \tau_{23} = \pm \frac{1}{2} \sigma_s; \quad \tau_{31} = \pm \frac{1}{2} \sigma_s. \quad (2.17)$$

Такое условие пластичности можно сформулировать следующим образом:

пластическое состояние наступает и поддерживается, если одна из разностей двух главных нормальных напряжений становится равной напряжению текучести вне зависимости от значений двух других, т. е. независимо от величины среднего главного напряжения.

Иначе можно сказать так:

пластическое состояние наступает, если какое-либо одно из главных касательных напряжений достигает величины половины напряжения текучести.

Это условие пластичности носит название условия постоянства главного касательного напряжения или условия постоянства разности главных нормальных напряжений. Оно было высказано Г. Треска и разработано Б. Сен-Венаном значительно раньше, чем было сформулировано более точное энергетическое условие пластичности.

7 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

а) Планируемые результаты обучения и оценочные средства для проведения промежуточной аттестации:

| Структурный элемент компетенции | Планируемые результаты обучения | Оценочные средства |
|---|---|---|
| ПК-12 способностью обеспечивать моделирование машин, электроприводов, гидроприводов, средств гидропневмоавтоматики, систем, различных комплексов, процессов, оборудования и технических объектов и технологических процессов с использованием стандартных пакетов и средств автоматизированного проектирования, проводить эксперименты по заданным методикам с обработкой и анализом результатов | | |
| Знать | <ul style="list-style-type: none"> - механизмы упругой и пластической деформации; - величины, характеризующие напряженное состояние тела; - величины, характеризующие деформацию тела; - условия пластичности; - основные гипотезы теории пластичности и их использование для анализов процессов деформирования; - физические основы разрушения металлов; - связь разрушения с пластической деформацией; - элементы теории дислокаций; - механизмы зарождения трещин | <p>Вопросы к зачету</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Общее представление о механизмах упругой и пластической деформации. 2. Величины, характеризующие напряженное состояние тела. 3. Напряжения на наклонной площадке. 4. Главные нормальные напряжения. 5. Максимальные касательные напряжения. 6. Октаэдрические напряжения. 7. Геометрическое изображение напряженного состояния. (Диаграмма напряжений Мора). 8. Инварианты тензора напряжений. 9. Условия равновесия для объёмного напряжённого состояния. 10. Величины, характеризующие деформацию тела. 11. Уравнения совместности или неразрывности деформаций. 12. Скорости перемещений и скорости деформаций. 13. Связь между напряжением и деформацией. 14. Плоское напряженное состояние и плоская деформация. 15. Осесимметричное напряженное состояние. 16. Энергетическое условие пластичности. 17. Геометрический смысл энергетического условия пластичности. 18. Частные выражения условия пластичности. 19. Влияние среднего по величине главного нормального напряжения. 20. Основные гипотезы теории пластичности и их использование для анализов процессов деформирования. 21. Уравнения пластического течения. 22. Принцип подобия. |
| Уметь | <ul style="list-style-type: none"> - использовать полученные знания для анализов процессов деформирования; - использовать полученные знания для прогнозирования разрушения металла | |
| Владеть | <ul style="list-style-type: none"> - методами теоретического анализа процессов деформирования; - методами прогнозирования разрушения металла при различных процессах деформирования | |

| Структурный элемент компетенции | Планируемые результаты обучения | Оценочные средства |
|---------------------------------|---------------------------------|---|
| | | <p>23. Принцип наименьшего сопротивления.</p> <p>24. Задачи теоретического анализа процессов деформирования.</p> <p>25. Решение дифференциальных уравнений равновесия совместно с условием пластичности.</p> <p>26. Метод линий скольжения.</p> <p>27. Метод баланса работ.</p> <p>28. Вариационные методы.</p> <p>29. О чём говорит теория Гриффитса.</p> <p>30. Как классифицируются трещины.</p> <p>31. Какие механизмы зарождения микротрещин Вы знаете?</p> <p>32. Что такое дислокационные механизмы зарождения микротрещин?</p> <p>33. Что такое диффузионные механизмы зарождения микротрещин?</p> <p>34. Назовите типы дислокаций.</p> <p>35. Как происходит переползание дислокаций?</p> <p>36. Что такое вектор Бюргерса?</p> <p>37. Как происходит возникновение и размножение дислокаций?</p> <p>38. Как происходит взаимодействие дислокаций?</p> <p>39. Назовите механизмы зарождения трещин.</p> <p>40. Какие вы знаете виды разрушения?</p> <p>41. Назовите основные термины, связанная с изучением пластичности и разрушения металлов.</p> <p>42. Что такое технологическая пластичность?</p> <p>43. Какие методы прогнозирования разрушения металла вы знаете?</p> <p>44. Назовите основные критерии прочности.</p> <p>45. В чём суть метода Кокрофта-Латама?</p> <p>46. В чём суть метода Колмогорова?</p> <p>47. В чём заключается алгоритм прогнозирования разрушения металла и определение запаса пластичности.</p> <p><i>Практические работы</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Практическая работа №1 2. Практическая работа №2 3. Практическая работа №3 |

| Структурный элемент компетенции | Планируемые результаты обучения | Оценочные средства |
|---------------------------------|---------------------------------|--|
| | | 4. Практическая работа №4 5. Практическая работа №5 6. Практическая работа №6 7. Практическая работа №7 |

б) Порядок проведения промежуточной аттестации, показатели и критерии оценивания:

Промежуточная аттестация по дисциплине «Основы теории пластичности и разрушения» включает теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень усвоения обучающимися знаний и практические задания, выявляющие степень сформированности умений и владений, проводится в форме зачет.

Зачет по данной дисциплине проводится в устной форме по вопросам.

Показатели и критерии оценивания зачета:

– на оценку **«зачтено»** – обучающийся показывает средний уровень сформированности компетенций. Всестороннее и систематическое знание основных определений и понятий, умеет корректно выражать и аргументировано обосновывать положения предметной области знания, владеет профессиональным языком предметной области знания, знает механизмы упругой и пластической деформации; величины, характеризующие напряженное состояние тела; величины, характеризующие деформацию тела; условия пластичности; основные гипотезы теории пластичности и их использование для анализов процессов деформирования; физические основы разрушения металлов; связь разрушения с пластической деформацией; элементы теории дислокаций; механизмы зарождения трещин, умеет использовать полученные знания для анализов процессов деформирования; использовать полученные знания для прогнозирования разрушения металла, владеет методами теоретического анализа процессов деформирования; методами прогнозирования разрушения металла при различных процессах деформирования.

– на оценку **«не зачтено»** – обучающийся демонстрирует знания не более 20% теоретического материала, допускает существенные ошибки, не может показать интеллектуальные навыки решения простых задач.

Итоговая аттестация по дисциплине «Основы теории пластичности и разрушения» включает теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень усвоения обучающимися знаний, и практические задания, выявляющие степень сформированности умений и владений, проводится в форме зачета (2 семестр).