

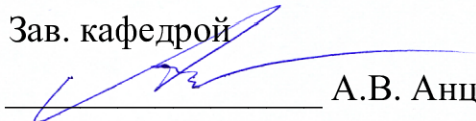
МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Тульский государственный университет»

Политехнический институт
Кафедра «Машиностроение и материаловедение»

Утверждено на заседании кафедры
«Машиностроение и материаловедение»
«30» января 2023 г., протокол № 6

Зав. кафедрой

 А.В. Анцев

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по проведению практических (семинарских) занятий
по дисциплине (модулю)
«Физика прочности и пластичности»

основной профессиональной образовательной программы
высшего образования – программы магистратуры

по направлению подготовки
22.04.02 Metallurgy

с направленностью (профилем)
Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов

Формы обучения: очная

Идентификационный номер образовательной программы: 220301-01-22

Тула 2023 год

Разработчик методических указаний

Петрушин Геннадий Дмитриевич, доцент каф. МиМ, к.т.н., доц.
(ФИО, должность, ученая степень, ученое звание)

- 
(подпись)

Практическое занятие № 1

Оценка поведения материалов при статическом нагружении с помощью диаграммы механического состояния

(2 часа)

1. Цель работы: Освоение навыков оценки механических свойств с использованием диаграммы механического состояния
2. План практического занятия
 - 2.1. Контроль готовности студента путем выборочного опроса.
 - 2.2. Решение типовых задач на доске
 - 2.3. Самостоятельное решение предложенных преподавателем задач при консультации преподавателя.
 - 2.4. Подведение итогов занятия
3. Методические указания к проведению занятия (сведения из теории)

Диаграмма механического состояния оценивает поведение материала при однократных, кратковременных статических нагружениях. Диаграмма механического состояния отражает, хотя и приближенно, влияние способа нагружения и наглядно показывает, что оценка механических свойств при каком-либо одном обычно произвольно выбранном способе нагружения часто недостаточна для выявления механического поведения материала при иных способах приложения нагрузки.

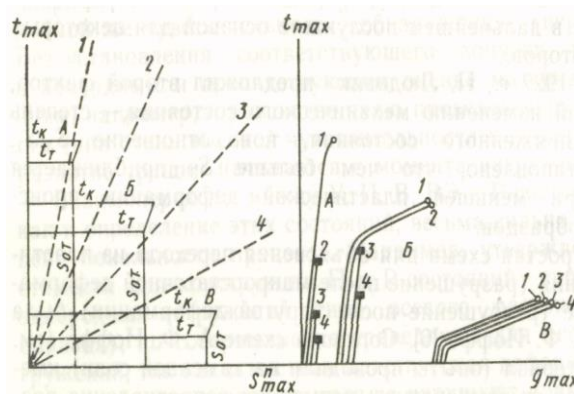


Рис. Диаграмма механического состояния материалов при различных способах нагружения: *A* — очень твердых; *B* — твердых; *B* — мягких; 1 — вдавливание; 2 — сжатие; 3 — кручение; 4 — растяжение

Диаграмма механического состояния учитывает:

1. Способ приложения нагрузки, характеризуемый отношением t_{max}/S_{max}^n , обозначенным буквой α .

Если $t_{max} \gg S_{max}^n$, т. е. касательные напряжения создаются при очень малых удлинениях, то способ нагружения является мягким (например, испытание на твердость при вдавливании, сжатие под гидростатическим давлением и т. п.).

Если $t_{max} \ll S_{max}^n$, т. е. создаются значительные упругие удлинения при малых касательных напряжениях, то способ нагружения является жестким (например, трехосное растяжение, возникающее во внутренних слоях растягиваемого надрезанного образца, в меньшей мере изгиб и растяжение).

Если $t_{max} \approx S_{max}^n$, то способ нагружения является средним по своей жесткости, например, кручение цилиндрического стержня, при котором $\frac{t_{max}}{S_{max}^n} = 0,8$ при $\mu = 0,25$. Назначение величины α в том, чтобы дать сравнительную оценку опасности одного из двух видов нарушения прочности: от касательных напряжений — текучесть или срез и от растягивающих — отрыв. При этом предполагается, что эти нарушения прочности определяются величинами t_{max} и S_{max}^n .

Введение величины α и представлений о жестких и мягких способах нагружения привлекло большее внимание к влиянию напряженного состояния на механические свойства материалов.

2. Отношение сопротивления отрыву $S_{от}$ к сопротивлению срезу t_k .

Если $S_{от} \ll t_k$, то материал при многих способах нагружения будет склонен к хрупкому разрушению путем отрыва, (серые и белые чугуны, некоторые литые сплавы, твердые сплавы, пластмассы); такие материалы обычно значительно менее прочны при растяжении, чем при сжатии.

Если $S_{от} \gg t_k$, то материал при многих способах нагружения будет склонен к разрушению путем среза, как правило, пластическому (алюминий, медь, свинец, многие железные сплавы).

Если $S_{от} \approx t_k$, то материал при близких нормальных и касательных напряжениях будет примерно в равной степени склонен к обоим видам разрушения.

3. Положение сопротивления отрыву по отношению к обобщенной кривой разное для разных способов нагружения.

Диаграмма механического состояния состоит из двух частей. По оси ординат обеих частей диаграммы отложены максимальные касательные напряжения t_{max} . По оси абсцисс отложены в левой части максимальные приведенные растягивающие напряжения S_{max}^n , в правой — максимальные пластические сдвиги g_{max} . Таким образом, левая часть диаграммы характеризует условно жесткость или мягкость способа нагружения по отношению $\frac{t_{max}}{S_{max}^n}$, правая часть диаграммы представляет собой обобщенную кривую течения $t_{max} = f(g_{max})$.

Какой-либо способ нагружения (элемента объема), охарактеризованный определенным отношением α , изображен в левой части диаграммы лучом, имеющим определенный угол наклона. Так, например, при всестороннем растяжении должны возникать только упругие удлинения без касательных напряжений и поэтому всестороннее растяжение должно характеризоваться лучом, совпадающим с осью абсцисс $\frac{t_{max}}{S_{max}^n} = 0$.

При сжатии под гидростатическим давлением возникают только касательные напряжения и соответствующий луч совпадает с осью ординат $\frac{t_{max}}{S_{max}^n} = \infty$, при осевом сжатии $\frac{t_{max}}{S_{max}^n} = 2$, при кручении $\frac{t_{max}}{S_{max}^n} = 0,8$ (при $\mu = 0,25$), при растяжении $\frac{t_{max}}{S_{max}^n} = 0,5$ и т.д.

Кроме того в левой части прямыми линиями показаны: предел текучести t_T и сопротивление срезу t_k , выраженные в касательных напряжениях, и сопротивление отрыву $S_{от}^n$ — в приведенных напряжениях.

Прямолинейность линий t_T , t_k и $S_{от}^n$ т.е. независимость этих величин от напряженного состояния, является, конечно, приближением, в особенности для трехосных (объемных) напряженных состояний. Следует отметить, что большая часть опытов по проверке различных теорий прочности проведена при двух-, а не при трехосных напряженных состояниях. Так, например, почти во всех случаях испытания на изгиб и кручение, и во многих случаях испытания на растяжение надрезанных образцов максимальные напряжения возникают на свободной поверхности образца, где перпендикулярные к поверхности напряжения равны нулю, и таким образом возникает плоское или даже линейное напряженное состояние. Только в некоторых случаях, например, при растяжении надрезанных образцов в пластической области максимум напряжений может перемещаться с поверхности внутрь образца.

Если условия нагружения таковы, что равенство $t_{max} = t_k$ будет осуществлено раньше, чем равенство $S_{max}^n = S_{от}^n$, то произойдет разрушение путем среза. В этом случае по мере повышения касательного напряжения от $t_{max} = t_T$ (переход в пластическую область) до $t_{max} = t_k$ (срез) будет получена полная обобщенная кривая течения данного материала. Если же еще до того, как будет достигнуто условие $t_{max} = t_k$, осуществится условие $S_{max}^n \geq S_{от}^n$, материал разрушится путем отрыва и кривая $t_{max} = f(g_{max})$ преждевременно оборвется; пластичность g_{max} и вязкость, пропорциональная площади диаграммы, окажутся пониженными тем сильнее, чем больше отношение S_{max}^n / t_{max} .

Таким образом, на диаграмме механического состояния имеются две замкнутые области: упругого состояния материала, ограниченная линией t_T - перехода в пластическую область и линией $S_{от}$ - перехода к хрупкому отрыву без пересечения пластической области; пластического состояния, ограниченная

линией t_k - разрушения путем среза и линией $S_{от}$ – не вполне хрупкого разрушения путем отрыва.

4. Контрольные мероприятия - сдача оформленного в соответствии с требованиями кафедры отчета в конце практического занятия.

5. Допуск к зачету производится только после выполнения и защиты всех предусмотренных рабочей программой практических занятий.

Практическое занятие № 2

Определение гомологических условий при сопоставлении результатов механических свойств.

(2 часа)

1. Цель работы: Получение навыков определения гомологических температур и напряжений при сопоставлении результатов механических испытаний.

2. План практического занятия

2.1. Контроль готовности студента путем выборочного опроса.

2.2. Решение типовых задач на доске (см. п. 3).

2.3. Самостоятельное решение предложенных преподавателем задач при консультации преподавателя.

2.4. Подведение итогов занятия

3. Методические указания к проведению занятия (сведения из теории)

Влияние температуры на механические свойства имеет весьма важное практическое значение. Многие детали авиационных и автомобильных моторов, атомных реакторов, реактивных двигателей, турбин, котлов, металлургических печей и т. п. работают при повышенных температурах. Многие процессы обработки давлением (ковка, прокатка, прессовка) проводятся при повышенных температурах. Детали холодильных машин, самолетов, космических ракет, приборов и т. д. работают при температурах ниже 0°C .

Влияние температуры часто оказывается весьма сложным, так как, кроме чисто физического воздействия, температура, особенно в области достаточной атомной подвижности, т. е. при температурах, достаточно близких к температурам размягчения и плавления, вызывает различные физико-химические процессы. Эти процессы иногда могут влиять на механические свойства гораздо сильнее и иначе, чем собственно изменение температуры как таковое. Так, например, при повышении температуры деформации металлы увеличивают свою пластичность.

С точки зрения физического состояния материала изучение и сопоставление влияния температуры на свойства различных металлов следовало бы проводить не при равных температурах по какой-либо температурной шкале, например, по Цельсию или Фаренгейту, как это часто делают, а при одинаковом относительном положении материала на шкале температур между абсолютным нулем и его температурой плавления.

Пояснить эту мысль можно диаграммой, показанной на рисунке. Отложим по двум осям абсцисс температуру (внизу в градусах Кельвина, сверху в градусах по одной из эмпирических шкал, например, по шкале Цельсия), по оси ординат — относительную близость к температуре плавления, выраженную в процентах; таким образом, температуре плавления соответствует 100%, а абсолютному нулю — 0%. Ординаты точек прямых линий, соединяющих левый нижний угол диаграммы с показателями температур плавления, отложенными по верхней горизонтальной шкале, соответствуют относительным температурам, указывающим близость к температуре плавления. Эти температуры называют сходственными или гомологическими температурами.

В честь австрийского ученого П. Людвика, предложившего ввести гомологические температуры, следовало бы называть соответствующую шкалу шкалой Людвика.

Из приведенной диаграммы видно, что, сопоставляя при 20 °С механические свойства двух металлов с резко различной температурой плавления, например: Pb и Fe (вертикаль AA), можно фактически наблюдать эти

два металла в различных физических состояниях: Pb при 20 °С довольно близок к температуре плавления (50 %), а Fe значительно ниже температуры плавления (16,5 %). Значительно более правильным явилось бы сопоставление различных механических и физических свойств при равных гомологических температурах. Тогда пришлось бы сопоставлять, например, свойства Pb при 20 °С и Fe при 630° С (по линии ББ).

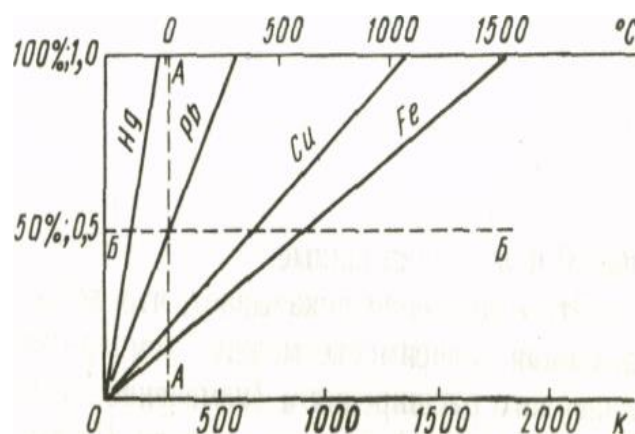


Рис. Диаграмма сходственных

температур для металлов с разной температурой плавления

В частности, известное правило А. А. Бочвара о связи между абсолютной температурой рекристаллизации T_p и абсолютной температурой плавления $T_{пл}$: $T_p = kT_{пл}$ ($k \sim 0,35$), может быть истолковано как правило постоянства сходственной температуры рекристаллизации, поскольку рекристаллизация начинается при сходственной температуре 35 %.

Так же и другие свойства (например, сопротивление пластическим деформациям), будучи отнесенными к одинаковым температурам Людвики, имеют одинаковый характер их изменения у разных металлов. Поэтому при установлении различных закономерностей влияния температуры на свойства надлежит учитывать положение металла по шкале сходственных температур, так как такой учет может обнаружить ряд закономерностей, не выявляемых при сопоставлении свойств при равных температурах по шкале Цельсия или Фаренгейта. Конечно, на поведение материалов при изменении температуры

могут оказывать влияние и другие факторы, не учитываемые переходом к сходственным температурам.

Для практических целей, как правило, применение обычной температурной шкалы Цельсия оказывается вполне целесообразным. Хотя и нельзя провести четкой границы между областью температур ниже 0°C (низкие температуры) и областью температур выше 0°C (повышенные и высокие температуры), такое разделение оказывается удобным и в дальнейшем будем им пользоваться. Речь все время идет о среднестатистической температуре деформируемого металла, так как местные температуры могут значительно повышаться при деформации.

4. Контрольные мероприятия - сдача оформленного в соответствии с требованиями кафедры отчета в конце практического занятия.

5. Допуск к зачету производится только после выполнения и защиты всех предусмотренных рабочей программой практических занятий.

Практическое занятие № 3

Анализ температурной зависимости ударной вязкости

малоуглеродистой стали

(2 часа)

1. Цель работы: Получение навыков определения доли вязкой составляющей в изломе для определения температурного порога хладноломкости.

2. План практического занятия

2.1. Контроль готовности студента путем выборочного опроса.

2.2. Решение типовых задач на доске .

2.3. Самостоятельное решение предложенных преподавателем задач при консультации преподавателя.

2.4. Подведение итогов занятия

3. Методические указания к проведению занятия (сведения из теории)

В инженерной и научной практике используют количественный показатель вязкости разрушения - *процент волокнистой(ямочной) составляющей в изломе (B)*. Характер разрушения и его количественная оценка могут быть определены по *фрактограммам*, полученным при анализе поверхности излома с помощью микроскопа. Обычно разрушение изделия считается вязким, если $B > 70 \%$ и хрупким, если $B < 30 \%$.

Температура вязко-хрупкого перехода. Все три вида разрушения – хрупкий, квазихрупкий и вязкий можно получить на одной марке стали при различных температурах. Склонность к проявлению (или усилению) хрупкого разрушения при понижении температуры называется *хладноломкостью*. Переход от вязкого к хрупкому состоянию наблюдается в интервале температур, середину этого интервала и принято называть температурой вязко-хрупкого перехода, а температуры T_{x1} и T_{x2} - верхним и нижним порогом хладноломкости. Чем ниже температура, тем выше вероятность того, что металл будет разрушаться хрупко.

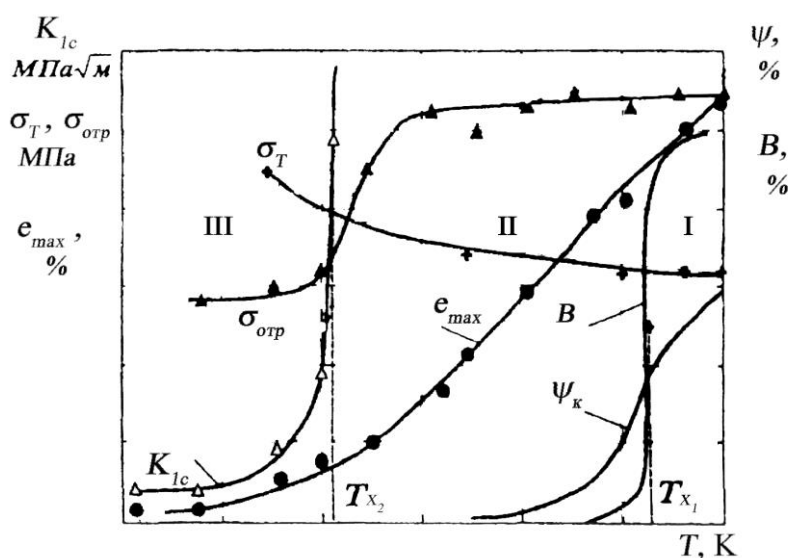


Рис. Схема изменения свойств при охлаждении металлов и сплавов в интервале температур вязко-хрупкого перехода: зона вязкого I, квазихрупкого (смешанного) II и хрупкого III разрушения

Температуру перехода от вязкого разрушения к квазихрупкому T_{x1} при охлаждении достаточно четко фиксирует интенсивное падение доли вязкой составляющей в изломе B и ярко выраженное снижение величины зоны локальной деформации перед трещиной ε_{max} (см. рис.). Этот параметр в полной мере отражает физику процесса во всем интервале температур перехода от вязкого к хрупкому состоянию. Сущность перехода от смешанного разрушения к хрупкому T_{x2} адекватно описывает схема Иоффе, рассматривающая температурные зависимости напряжения отрыва $\sigma_{отр}$ и предела текучести σ_T , которые имеют различный наклон и поэтому пересекаются при температуре $t_{пх}$. Ниже $t_{пх}$ при нагружении материала в первую очередь достигается $\sigma_{отр}$, при нагружении выше T_{x2} вначале достигается σ_T , поэтому разрушению будет предшествовать пластическая деформация и оно становится вязким.

4. Контрольные мероприятия – сдача оформленного в соответствии с требованиями кафедры отчета в конце практического занятия.

5. Допуск к зачету производится только после выполнения и защиты всех предусмотренных рабочей программой практических занятий.

Практическое занятие № 4.

Семинарское занятие

(2 часа)

1. Цель занятия: Обсуждение материалов научных статей, выбранных магистрантами из журналов металловедческого направления на тему «Физическая природа статического деформационного старения стали».

2. План практического занятия

2.1. Контроль готовности студентов к занятию определяется путем выборочного опроса и по предъявлению оформленной контрольно-курсовой работы, согласно выданной тематике.

2.2. Краткое изложение студентами содержания научных статей в соответствии с заранее определенным алгоритмом анализа.

2.3. Обсуждение изложенного материала с привлечением сведений из теории по соответствующим разделам дисциплины.

2.4. Подведение итогов занятия.

3. Методические указания к проведению занятия (выполнение контрольно-курсовой работы и изучение отдельных разделов дисциплины в соответствии с методическими указаниями по самостоятельной работе студентов).

4. Контрольные мероприятия - сдача оформленной в соответствии с требованиями кафедры контрольно-курсовой работы в конце практического занятия.

5. Допуск к промежуточной аттестации (зачету) производится только после выполнения и защиты всех предусмотренных рабочей программой практических занятий.

Практическое занятие № 5.

Семинарское занятие

(2 часа)

1. Цель занятия: Обсуждение материалов научных статей, выбранных магистрантами из журналов металловедческого направления на тему «Изменение механических свойств стали при деформационном старении».

2. План практического занятия

2.1. Контроль готовности студентов к занятию определяется путем выборочного опроса и по предъявлению оформленной контрольно-курсовой работы, согласно выданной тематике.

2.2. Краткое изложение студентами содержания научных статей в соответствии с заранее определенным алгоритмом анализа.

2.3. Обсуждение изложенного материала с привлечением сведений из теории по соответствующим разделам дисциплины.

2.4. Подведение итогов занятия.

3. Методические указания к проведению занятия (выполнение контрольно-курсовой работы и изучение отдельных разделов дисциплины в соответствии с методическими указаниями по самостоятельной работе студентов).

4. Контрольные мероприятия - сдача оформленной в соответствии с требованиями кафедры контрольно-курсовой работы в конце практического занятия.

5. Допуск к промежуточной аттестации (зачету) производится только после выполнения и защиты всех предусмотренных рабочей программой практических занятий.

Практическое занятие № 6.

Семинарское занятие

(2 часа)

1. Цель занятия: Обсуждение материалов научных статей, выбранных магистрантами из журналов металловедческого направления на тему «Дислокационные механизмы упрочнения стали».

2. План практического занятия

2.1. Контроль готовности студентов к занятию определяется путем выборочного опроса и по предъявлению оформленной контрольно-курсовой работы, согласно выданной тематике.

2.2. Краткое изложение студентами содержания научных статей в соответствии с заранее определенным алгоритмом анализа.

2.3. Обсуждение изложенного материала с привлечением сведений из теории по соответствующим разделам дисциплины.

2.4. Подведение итогов занятия.

3. Методические указания к проведению занятия (выполнение контрольно-курсовой работы и изучение отдельных разделов дисциплины в соответствии с методическими указаниями по самостоятельной работе студентов).

4. Контрольные мероприятия - сдача оформленной в соответствии с требованиями кафедры контрольно-курсовой работы в конце практического занятия.

5. Допуск к промежуточной аттестации (зачету) производится только после выполнения и защиты всех предусмотренных рабочей программой практических занятий.