

Тема 3 Неполная упругость металлов. Эффект Баушингера. Упругое последствие. Внутреннее трение (2 часа)

План лекции

1. Упругие свойства.
2. Эффект Баушингера.
3. Упругое последствие.
4. Внутреннее трение.
5. Экспериментальные методы определения внутреннего трения.
6. Блок-схема крутильного маятника.

В области упругой деформации у металлов и сплавов наблюдается ряд отклонений от чисто упругого поведения.

Одним из известных проявлений неполной упругости металлов является эффект Баушингера. Он заключается в том, что при повторном нагружении пластически слабдеформированного образца в обратном направлении его сопротивление малым пластическим деформациям снижается. Допустим, мы растянули образец на 1...2 % (до точки a , рисунок 5). Теперь снимем нагрузку и будем подвергать его сжатию. Кривая напряжение – деформация ($O'ec$) будет лежать ниже соответствующей кривой ($O'b$), которую мы получили бы при повторном растяжении. Если точка b соответствует здесь началу пластической деформации, то отрезок $bc = \delta_B$ представляет так называемую *баушингеровскую деформацию*, которая является одной из основных количественных характеристик эффекта Баушингера.

Процесс, определяющий этот эффект, состоит в обратном движении дислокаций, порожденных различными источниками при первоначальном растяжении. На начальных стадиях деформации постепенно растущее число генерируемых дислокационных петель движется относительно легко и на значительные расстояния вплоть до остановки у каких-либо барьеров. Возникающая дислокационная структура достаточно стабильна и мало меняется в результате разгрузки. Поэтому при повторном растяжении сопротивление деформированию либо несколько возрастает, либо практически не меняется по сравнению с первоначальным. При изменении же знака напряжения дислокации вынуждены двигаться обратно по направлению к источникам. В результате перемещения дислокаций появляется дополнительная баушингеровская деформация.

После значительной предварительной пластической деформации перераспределение дислокаций при обратном нагружении затрудняется и баушингеровская деформация приближается к нулю.

Особенно большое практическое значение эффект Баушингера имеет при эксплуатации и испытаниях в условиях циклического нагружения.

К важным проявлениям неполной упругости металлов относится упругое последствие. Оно свидетельствует о том, что не вся обратимая деформация металла является чисто упругой. Возьмем образец и создадим в нем напряжение в пределах упругого участка кривой напряжение – деформация [1]. После разгрузки такой образец будет иметь те же размеры,

что и до нагружения. Проследим, однако, как будет изменяться его удлинение во времени под действием приложенного напряжения и после разгрузки. Соответствующая диаграмма представлена на рисунке 6.

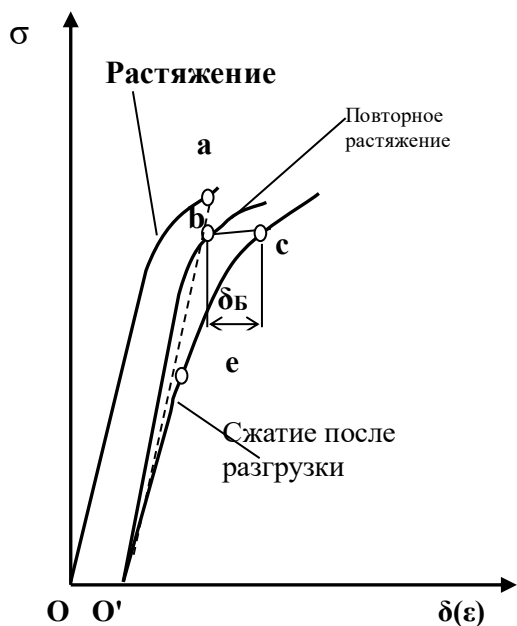


Рисунок 5 – Схема эффекта Баушингера

Оказывается, что образец деформируется чисто упруго лишь на величину OC , а затем удлиняется гораздо медленнее по закону, близкому к параболическому. После разгрузки в точке K происходит очень быстрое снятие чисто упругой деформации ($KM \approx OC$), а затем – относительно медленное – остальной деформации. В конце концов, $\delta = 0$ (в точке N), образец имеет исходные размеры, однако ясно, что далеко не вся обратимая деформация является чисто упругой.

Механизм упругого последействия может быть связан с перемещением точечных дефектов, например, в металлах с о.ц.к.-решеткой – атомов примесей внедрения. Под действием напряжения происходит постепенное перераспределение примесных атомов – они стремятся занять междоузлия на ребрах вдоль оси нагружения, где они вызывают наименьшие искажения решетки. В результате решетка и весь образец остаточно удлиняются вдоль направления действия нагрузки. Это происходит не мгновенно.

Скорость упругого последействия, а также величина зависят от структуры материала и условий его испытания. Например, повышение температуры резко увеличивает скорость последействия (в цинке – на 50% при повышении температуры на 15°).

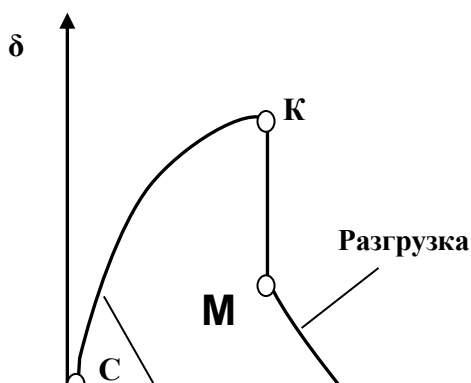


Рисунок 6 – Схема упругого последействия

Неупругие эффекты служат причинами *внутреннего трения*, характеризующего необратимые потери энергии внутри металла. Линии диаграммы напряжение – деформация при нагрузке и разгрузке из-за неполной упругости металлов не совпадают (рисунок 7), а образуют петлю гистерезиса. Ее площадь и характеризует энергию, рассеянную за один цикл нагружения.

Знание величины внутреннего трения необходимо для грамотного выбора материала, работающего в определенных условиях. Например, демпфирующие материалы для амортизаторов должны обладать высоким внутренним трением. Наоборот, многие детали измерительных приборов не должны рассеивать упругую энергию, чтобы обеспечить малую инерционность и высокую точность измерений.

Для экспериментальной оценки величины внутреннего трения необходимо знать связь между напряжением и деформацией при нагружении и разгрузке (рисунок 7). На практике используют динамические методы с периодическим изменением нагрузки, например, по синусоидальному закону. Такому изменению нагрузки будет соответствовать и периодическое изменение деформации, но из-за явления неупругости деформации неизбежно будет отставать от напряжения по фазе на какой-то угол φ . Величина $\operatorname{tg}\varphi$ – одна из характеристик рассеяния энергии колебаний, т. е. внутреннего трения. Другую характеристику можно получить, оценив площадь петли. Эта площадь пропорциональна величине потерь ΔW энергии колебаний за один цикл. За меру внутреннего трения принимают величину $\Delta W/2\pi W$, где W – полная энергия деформации.

Еще одна характеристика – логарифмический декремент затухания амплитуды колебаний γ . Он равен натуральному логарифму отношения предыдущего максимального отклонения колеблющегося образца к последующему.

$$\operatorname{tg}\varphi \approx \gamma/\pi \approx \Delta W/2\pi W = Q^{-1},$$

где Q^{-1} – широко используемое обозначение внутреннего трения.

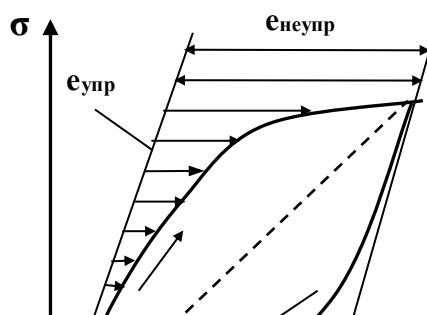


Рисунок 7 – Образование петли гистерезиса в результате неупругих явлений

Из экспериментальных методов исследования внутреннего трения наиболее распространен метод крутильного маятника. В прямом крутильном маятнике образец в виде проволоки или ленты используется в качестве упругого подвеса, к нижнему концу которого крепится инерционная масса, снижающая частоту крутильных колебаний до 1 Гц. Это позволяет регистрировать колебания визуально, наблюдая за перемещением светового зайчика, отраженного от закрепленного на маятнике зеркала. Инерционная масса в прямом маятнике может вызвать заметные растягивающие напряжения в образце, что искажает результаты опытов. Тогда используют другую конструкцию – перевернутый крутильный маятник. Здесь нижний конец образца закрепляется неподвижно, а инерционная масса крепится к верхнему концу и поддерживается подвесом из материала с малым затуханием.

Экспериментальные установки для измерения внутреннего трения по схеме крутильного маятника – это сложные устройства. Блок-схема этих установок включает следующие основные элементы: 1) крутильный маятник; 2) систему механической коррекции; 3) демпфирующее устройство; 4) систему возбуждения и регистрации; 5) систему изменения момента инерции; 6) систему изменения и регулирования температуры; 7) вакуумную систему.

Рассмотренные константы упругих свойств и характеристики неупругости имеют важное значение, хотя бы потому, что в реальных условиях эксплуатации большинство материалов в конструкциях работают в упругой области, не подвергаясь заметной пластической деформации. И все же большинство стандартных механических свойств характеризуют сопротивление пластической деформации или допустимую величину этой деформации. Упругие и неупругие свойства определяют в основном в металлофизических исследованиях, причем часто для того, чтобы разобраться в свойствах на стадии пластической деформации.

Рекомендуемая литература

1. Золотаревский В.С. Механические свойства металлов. – М.: Металлургия, 1998. – 306 с.
2. Бернштейн М.Л., Займовский В.А. Механические свойства металлов. – М.: Металлургия, 1979. – 496 с.

3. Костин П.П. Физико-механические испытания металлов, сплавов и неметаллических материалов. – М.: Машиностроение, 1990. – 296 с.

4. Жуковец Н.И. Механические свойства металлов. – М.: Высшая школа, 1986. – 312 с.

5. Шарая О.А., Куликов В.Ю., Шарый В.И. Учебное пособие по курсу «Механические свойства материалов», КарГТУ, 2004.

Контрольные задания для СРС (темы 1, 2) [1], [2], [4], [12]

1. Приборы для определения упругих свойств. Принцип работы.

2. Упругие участки кривых напряжение – деформация.

3. Закон Гука для изотропных тел.

4. Внутреннее трение как метод исследования тонкой структуры металлов и сплавов.

5. Крутильный маятник.

6. Физический смысл логарифмического декремента затухания.

7. Механизм упругого последействия.

8. Резонансная установка для определения модуля нормальной упругости.