

Содержание

Введение	3 стр.
Упругие деформации	4 стр.
Кристаллические тела	5 стр.
Аморфные тела	6 стр.
Растяжение (сжатие)	8 стр.
Сдвиг	9 стр.
Диаграммы деформации	10 стр.
Дефекты в кристаллах	12 стр.
Способы повышения прочности твердых тел	13 стр.
Список литературы	14 стр.

Введение

Деформации возникают из-за различных движений тела. Если бы все части тела двигались одинаково, то тело всегда сохраняло бы свою первоначальную форму и размеры, т.е. оставалось бы недеформированным.

Деформации бывают различных видов, например, такие как деформации растяжения и сжатия, сдвига, изгиба, кручения. Деформация растяжения имеет другое название – линейная деформация.

Основными деформациями являются деформации растяжения (сжатия) и сдвига. При деформации изгиба происходит неоднородное растяжение и сжатие, а при деформации кручения – неоднородный сдвиг.

При деформациях твердого тела его частицы (атомы, молекулы, ионы), находящиеся в узлах кристаллической решетки, смещаются из своих положений равновесия. Этому смещению противодействуют силы взаимодействия между частицами твердого тела, удерживающие эти частицы на определенном расстоянии друг от друга. Поэтому при любом виде упругой деформации в теле возникают внутренние силы, препятствующие его деформации. Такие силы называют силами упругости. Связь между силой упругости и упругой деформацией тела была экспериментально установлена английским физиком Гуком.

УПРУГИЕ ДЕФОРМАЦИИ

Твердые тела и материалы, которыми располагает общество, во многом определяют уровень его технического развития. Физика твердого тела служит основой современного материаловедения, она указывает пути создания технически важных твердых тел и материалов с требуемыми свойствами. Так как применение большинства твердых материалов определяется в первую очередь их механическими свойствами, то из всего разнообразия физических свойств механические свойства твердых тел являются наиболее важными в изучении.

Современная техника нуждается в прочных и долговечных материалах с разнообразными механическими и другими свойствами. Чтобы создавать такие материалы, чтобы изменять их свойства в нужном направлении, важно знать, что происходит в реальных твердых телах под действием внешней механической нагрузки, то есть необходимо знать механизм деформации и разрушения.

Создание материалов с заданными механическими, магнитными, электрическими и другими свойствами – одно из основных направлений современной физики твердого тела. Приблизительно половина физиков мира работает сейчас в области физики твердого тела.

Кристаллические тела

Твердые тела сохраняют не только свой объем, как жидкости, но и форму. Твердые тела находятся преимущественно в кристаллическом состоянии.

Кристаллы – это твердые тела, атомы и молекулы которых занимают определенные упорядоченные положения в пространстве. Следствие этого – правильная внешняя форма кристалла.

Анизотропия кристаллов

Правильная внешняя форма – не единственное, и даже не самое главное следствие упорядоченного строения кристалла. Главное – это зависимость физических свойств от выбранного в кристалле направления. Прежде всего бросается в глаза различная механическая прочность кристалла по разным направлениям. Например, легко расслаиваются по одному направлению кристаллы графита. Когда мы пишем карандашом, такое расслоение происходит непрерывно, и тонкие слои графита остаются на бумаге. Это происходит потому, что кристаллическая решетка графита имеет слоистую структуру. Слои образованы рядом параллельных плоских сеток, состоящих из атомов углерода. Атомы располагаются в вершинах правильных шестиугольников. Расстояние же между слоями сравнительно велико, поэтому связи между слоями менее прочны, чем связи внутри них.

Многие кристаллы по-разному проводят теплоту и электрический ток в различных направлениях. Зависят от направления и оптические свойства кристаллов.

Зависимость физических свойств от направления внутри кристалла называют анизотропией. Все кристаллические тела анизотропны.

Поликристаллы и монокристаллы

Твердое тело, состоящее из большого числа маленьких кристалликов, называют поликристаллическим. Типичные представители поликристаллов – металлы. На первый взгляд их кристаллическое строение никак не проявляется. Большой кусок металла анизотропен. Дело в том, что кристаллики ориентированы друг по отношению к другу хаотически. В результате в объеме, значительно превышающем объем отдельных кристалликов, все направления внутри металлов равноправны и их свойства одинаковы по всем направлениям. Каждый же кристаллик анизотропен.

Одиночные кристаллы называют монокристаллами.

Аморфные тела

Аморфными называют вещества, не обладающие в конденсированном состоянии кристаллическим строением, но обладающие, в отличие от жидкостей, упругостью формы (модуль сдвига не равен нулю).

В аморфном состоянии могут находиться, например обычные (неорганические) стекла, сера, селен, глицерин и большинство высокомолекулярных соединений.

У аморфных тел, в отличие от кристаллических, нет строгого порядка в расположении атомов. Только ближайшие атомы располагаются в некотором порядке. Но строгой повторяемости во всех направлениях одного и того же элемента структуры, которая характерна для кристаллов, в аморфных телах нет.

Все аморфные тела изотропны – их физические свойства одинаковы по всем направлениям.

Аморфные вещества при определенных условиях стеклуются, т. е. переходят от свойств и закономерностей жидкого состояния к свойствам и закономерностям твердого состояния. Переход аморфного вещества из жидкого состояния в твердое при изменении температуры или давления называется структурным стеклованием. При таком переходе меняются объем, теплосодержание, а также механические, электрические и другие свойства вещества.

Стеклование и размягчение совершаются в довольно широкой температурной области – до нескольких десятков градусов. Поэтому в отличие от кристаллических тел, аморфные тела не обладают какой-то определенной температурой плавления.

Деформация и разрушение твердых тел под действием приложенных сил – это основные явления, определяющие механические свойства материалов.

Деформацией называется изменение формы или объема тела.

Жидкости сопротивляются изменению их объема, но не сопротивляются изменению формы. Твердые же тела сопротивляются как изменению формы, так и изменению объема. Они сопротивляются, как говорят, любому деформированию.

Давления, возникающие в твердом теле при его деформировании, называются упругими напряжениями. Напряжение – это сила, отнесенная к единице площади:

Деформации, которые полностью исчезают при прекращении действия внешних сил, называются упругими.

Деформации, которые не исчезают после прекращения действия внешних сил, называются пластическими.

Существует определенная (для каждого тела) пороговая величина напряжения, начиная с которой в теле появляется пластическая деформация. Эта величина называется пределом упругости. При меньших напряжениях снятие нагрузки возвращает тело в исходное состояние; при больших напряжениях после снятия нагрузки в теле остаются остаточные, пластические, деформации.

Любые деформации твердых тел можно свести к двум видам – растяжению (или сжатию) и сдвигу.

Растяжение (сжатие)

Если к однородному стержню, закрепленному на одном конце, приложить силу F вдоль оси стержня в направлении от него, то стержень подвергнется деформации растяжения.

Деформацию растяжения характеризуют абсолютным удлинением:

где l_0 и l – начальная и конечная длина стержня.

Благодаря большой сопротивляемости твердых тел, испытываемые ими под влиянием внешних сил деформации обычно невелики. При малом относительном удлинении деформации большинства тел упругие.

При малых деформациях напряжение прямо пропорционально относительному удлинению. Эта зависимость носит название закона Гука:

где коэффициент E характеризует материал тела и называется модулем Юнга. Так как относительное удлинение – величина безразмерная, то размерность модуля Юнга совпадает с размерностью напряжения, то есть модуль Юнга имеет размерность давления.

Растяжение относится к однородным деформациям, то есть к таким, при которых все элементы объема тела деформируются одинаковым образом.

Тесно связанной с простым растяжением, но неоднородной деформацией является изгиб тонкого стержня. При изгибе одна сторона – выпуклая – подвергается растяжению, а другая – вогнутая – сжатию. Внутри изгибаемого тела расположен слой, не испытывающий ни растяжения, ни сжатия, называемый нейтральным.

Вблизи нейтрального слоя тело почти не испытывает деформаций. В этом слое малы и возникающие при деформации силы. Следовательно, площадь поперечного сечения изгибаемой детали в окрестности нейтрального слоя можно значительно уменьшить. В современной технике и строительстве вместо стержней и простых брусьев повсеместно применяют трубы, двутавровые балки, рельсы, швеллеры, чем добиваются облегчения конструкций и экономии материала.

Сдвиг

Сдвигом называется деформация, при которой все плоские слои твердого тела параллельны некоторой плоскости (плоскости сдвига), не искривляясь и не изменяясь в размерах, смещаются параллельно друг другу .

Сдвиг происходит под действием силы F , приложенной касательно к грани BC , параллельной плоскости сдвига. Грань AD закреплена неподвижно. Мерой деформации является угол сдвига (относительный сдвиг), выраженный в радианах.

Для малых деформаций (при упругих деформациях) по закону Гука относительный сдвиг пропорционален касательному (скалывающему) напряжению:

где G – модуль сдвига, численно равный касательному напряжению, вызывающему относительный сдвиг, равный единице.

Рассмотренный нами сдвиг прямоугольного бруска представляет собой однородную деформацию.

Деформацией чистого сдвига, но неоднородной, является кручение стержня. Она возникает, если, закрепив один конец стержня, закрутить его второй конец. При этом различные сечения стержня будут поворачиваться на различные углы относительно закрепленного основания.

Диаграммы деформации

Большое количество твердых материалов служит для изготовления конструкций (сооружений, машин, механизмов), основное назначение которых – сопротивление деформации. Конструктор должен заранее знать поведение материалов при значительных деформациях, условия, при которых материалы начнут разрушаться.

Сведения о механических свойствах различных материалов получают экспериментально. Сопротивление деформации, как правило, определяют по диаграммам деформации в координатах . Эти диаграммы аттестуют материал, определяя его механические свойства (предел текучести, деформирующее напряжение, интенсивность деформационного упрочнения, предел прочности и др.).

Рассмотрим механические свойства твердого тела на примере исследования деформации растяжения. Для проведения этого исследования стержень из исследуемого материала при помощи специальных устройств подвергают растяжению и измеряют удлинение образца и возникающее в нем напряжение. По результатам опытов вычерчивают график зависимости напряжения от относительного удлинения – диаграмму растяжения.

При небольших деформациях (при малых напряжениях) выполняется закон Гука (участок OA).

Максимальное напряжение σ_p , при котором еще выполняется закон Гука, называют пределом пропорциональности.

Если увеличить нагрузку, то деформация становится нелинейной. Тем не менее при небольших нелинейных деформациях после снятия нагрузки форма и размеры тела практически восстанавливаются (участок AB).

Максимальное напряжение, при котором еще не возникают заметные остаточные деформации (относительная остаточная деформация не превышает 0,1 %), называют пределом упругости $\sigma_{уп}$. Предел упругости превышает предел пропорциональности лишь на сотые доли процента. Значения предела упругости зависят не только от вещества тела. Оно сильно меняется в зависимости от способа приготовления образца, его предварительной обработки, наличия в нем примесей и т.д. Так, предел упругости монокристаллов алюминия составляет всего 4 кгс/см², а технического алюминия – 1000 кгс/см² (примерно 10⁸ Па). При напряжении, превышающем предел упругости образец остается деформированным после снятия напряжения. По мере увеличения нагрузки деформация нарастает все быстрее и быстрее (участок BC).

При некотором значении напряжения, соответствующем на диаграмме точке С, удлинение нарастает практически без увеличения нагрузки. Это явление называют текучестью материала (участок CD).

Далее с увеличением деформации кривая напряжений начинает немного возрастать и достигает максимума в точке Е. Затем напряжение быстро падает и образец разрушается (точка К). Разрыв происходит после того, как напряжение достигает максимального значения спч, называемого пределом прочности – образец растягивается без увеличения внешней нагрузки вплоть до разрушения. Эта величина зависит от материала образца и его обработки.

Повышение пределов прочности таких широко используемых в технике материалов, как сталь, чугун, алюминий, медь и многих других является задачей исключительной важности.

Сравнение реальной прочности кристаллов со значениями, полученными на основании теоретических расчетов, обнаруживает весьма существенные расхождения: теоретический предел прочности в десятки и даже сотни раз превосходит значения, получаемые при испытании реальных образцов! Это означает, что на изготовление станков и машин, железных дорог и трубопроводов расходуется в десятки и сотни раз больше материалов, чем это было бы необходимо при получении материалов, обладающих такой прочностью, какая предсказана теорией. Поэтому физикам и инженерам очень важно было узнать, по какой причине реальная прочность твердых тел оказывается значительно меньше величин, рассчитанных для идеальной модели.

Оказалось, что причина расхождения теории и эксперимента – в наличии внутренних и поверхностных дефектов, существование которых не учитывалось в расчетах.

Дефекты в кристаллах

Уже сам факт сильной зависимости пластических свойств тела от его обработки, наличия примесей и т.п. указывает на тесную связь этих свойств с особенностями кристаллического строения реальных тел – особенностями, отличающими реальные кристаллы от идеальных.

О нарушениях идеальной кристаллической структуры говорят как о дефектах кристаллов. Наиболее простой тип дефектов (которые можно назвать точечными) состоит в отсутствии атома в узле решетки (свободная вакансия) или в замене «правильного атома в узле чужеродным (атомом примеси), во внедрении лишнего атома в межузельное пространство и т.п. Нарушение правильности структуры решетки распространяется на небольшое (порядка величины нескольких периодов) расстояние вокруг такой точки.

Наиболее важную роль в механических свойствах твердых тел играют, однако, дефекты другого рода, которые можно назвать линейными, поскольку нарушение правильности структуры кристаллической решетки сосредоточено вблизи нескольких линий. Эти дефекты называют дислокациями.

В краевой дислокации направление сдвига перпендикулярно, а в винтовой – параллельно линии дислокации. Между этими двумя предельными случаями возможны любые промежуточные. Линии дислокации не обязательно прямые: они могут быть и кривыми, в том числе образовывать замкнутые петли.

Способы повышения прочности твердых тел

Для получения материалов с высокой прочностью на разрыв и сдвиг, т.е. с большим сопротивлением пластической деформации, необходимо:

- а) либо уменьшить в них число дислокаций,
- б) либо создать условия, затрудняющие перемещения дислокаций.

Препятствием перемещению дислокации может служить другая дислокация, встретившаяся на ее пути. Поэтому при увеличении числа дислокаций в единице объема прочность кристалла сначала уменьшается, а затем начинает возрастать. Это обстоятельство иллюстрируется на графике зависимости предела прочности от числа дефектов в единице объема кристалла.

Способ повышения прочности твердых тел путем получения кристаллов с очень малым количеством дислокаций пока еще не используется в промышленности. Большинство современных методов упрочнения материалов основано на противоположном способе, состоящем в искажении кристаллической структуры путем создания в ней различного рода дефектов – введением примесей, созданием дислокаций. Например, при легировании стали – введении в расплав небольших добавок хрома, вольфрама и других элементов – ее прочность увеличивается примерно втрое. При протяжке, дробеструйной обработке металлов и т.п. происходит так называемый наклеп, приводящий к увеличению плотности дислокаций и повышению прочности. Например, после протяжки бруска углеродистой стали предел прочности возрастает втрое. Обработка металлов давлением приводит к уменьшению размеров кристаллов и увеличению дефектов структуры внутри самих зерен. И то и другое мешает передвижению дислокаций и приводит к значительному повышению прочности. Использование научных достижений в металлургии позволило получать алюминиевые сплавы, не уступающие по прочности легированным сталям. Лучшие марки стали 30-х годов обладали прочностью на разрыв 10^9 Па, а современные – $2,3 \times 10^9$ Па.

Приблизить практическую прочность металлов к теоретической можно и другим способом – высокоскоростной кристаллизацией. На основе высокоскоростной кристаллизации и последующего горячего прессования разработана технология производства, например, дисков из никелевых сплавов для газотурбинных двигателей. Таким способом жаропрочность дисков была повышена более чем в

полтора раза. Это дало возможность уменьшить массу агрегатов, повысить рабочие температуры, увеличить срок службы двигателей.

Список литературы

1. Кабардин О. Ф., Кабардин С. И., Шефер Н. И. Факультативный курс физики. Учеб. пособие для учащихся. – М.: Просвещение, 2015. – С. 50-61.
2. Конева Н. А. Природа стадий пластических деформаций. Соросовский образовательный журнал, № 10, 2016. – С. 99-105.
3. Ландау Л. Д., Ахиезер А. И., Лифшиц Е. М. Курс общей физики. Механика и молекулярная физика, М.: Наука, 2019. С. 316-335.
4. Яворский Б. М., Детлаф А. А. Справочник по физике для инженеров и студентов вузов.– М.: Наука, 2015. С. 281-291.
5. <https://obrazovanie-gid.ru/referaty/referat-na-temu-uprugie-deformacii.html>
6. <https://studfile.net/preview/9079141/>
7. <https://www.freepapers.ru/34/deformaciya/36126.228793.list1.html>