ВОЛГОГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Информационные системы и математическое моделирование»

техническая механика

испытание материалов на растяжение и сжатие. диаграммы растяжения пластических и хрупких маиериалов

ЛИСТОВ 13

|  |  |
| --- | --- |
|  | Преподаватель\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_Никонова Г.А.«\_\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_2010 |
|  | ИсполнительСтудент группы ИСТ-1-08 \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_Прыгунова Е.В. «\_\_\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_2010 |

Волгоград 2010

Испытания материалов на растяжение и сжатие

При проектировании строительных конструкций, машин и механизмов инженеру необходимо знать значения величин, характеризующих прочностные и деформативные свойства материалов. Их можно получить путем механических испытаний, проводимых в эксперименталь­ных лабораториях на соответствующих испытательных машинах. Таких испытаний проводится много и самых различных, например испытания на твердость, сопротив­ляемость ударным и переменным нагрузкам, противодействие высоким температурам и т.д.

**Испытания на растяжение**

Наибольшую информацию о механических свойствах металлов можно получить из статических испытаний на растяжение. Испытания прово­дятся в соответствии с ГОСТ 1497—84.

 Для испытания на растяжение применяют образцы специальной формы — цилиндрическиеили плоские (рис. 1)*.*

*Рис. 1*

Образцы имеют рабочую часть с начальной длиной *l0*,на которой определяется удлине­ние, и головки с переходным участком, форма и размеры которых зависят от способов их крепления в захватах машины. Различают длинные образцы с отношением *l0/d0 =* 10 и короткие — *l0/d0 = 5.* Размеры образцов делают стандартными для того, чтобы результаты испытаний, полученные в разных лабораториях, были сравнимы.

Испытания проводят на разрывных или универсаль­ных машинах. В зависимости от метода приложения нагрузки машины бывают с механическим или гидрав­лическим приводом. Они обычно выпускаются с вертикальным расположением образа. Передача усилия на образец осуществляется через захваты. Для центральной передачи усилия на образец в машинах имеются специ­альные устройства. Все машины снабжены устройством для автоматической записи в определенном масштабе *диаграммы растяжения,* т. е. графика зависимости меж­ду растягивающей силой *F* и удлинением образца Δ*l.*

В настоящее время начинают широко применяться испытательные машины нового поколения — универсальные машины с использованием современной микроэлектроники, которая позволяет полностью автоматизировать ход испытаний и управлять им, начиная от пуска машины до вывода полученных результатов измерений на дисплей и графопостроитель.

**Испытания на сжатие**

Для испытания металлов на сжатие применяется цилиндрические образцы сотноше­нием высоты к диаметру в пределах 1,5..,3, Применение более длинных образцов недопустимо, так гак такие об­разцы могут искривляться и тем самым искажать резуль­таты испытаний. Следует обратить внимание на некото­рую условность получаемых результатов из-за наличия сил трения в опорных поверхностях образца. Поэтому стараются ослабить влияние сил трения введением раз­личных смазок или приданием конусной формы торцевым поверхностям образца.

Испытание на сжатие осуществляется обычно при по­мощи тех же испытательных машин с применением спе­циальных приспособлений (реверсоров).

Диаграммы растяжения пластичных и хрупких материалов

**Диаграмма низкоуглеродистой стали**

Записанная с по­мощью специального устройства на испытательной машине диаграмма растяжения низкоуглеродистой стали изображена на рис. 2. Из этой группы сталей наиболь­шее применение для строительных конструкций находит сталь марки Ст3 и Ст3Гпс.

*Рис. 2*

В начальной стадии нагружения до некоторой точки *А* диаграмма растяжения представляет собой наклонную прямую, что указывает на пропорциональность между нагрузкой и деформацией — справедливость закона Гука. Нагрузка, при которой эта пропорциональность еще не нарушается, на диаграмме обозначена через *Fпц* и ис­пользуется для вычисления предела пропорциональности:

*σпц = Fпц/А0*

*Пределом пропорциональности* σпц *называется наибольшее напряжение, до которого существует прямо пропор­циональная зависимость между нагрузкой и деформацией.* Для Ст3 предел пропорциональности приблизительно ра­вен σпц = 195…200 МПа.

Зона *ОА* называется *зоной упругости.* Здесь возникают только упругие, очень незначительные деформации. Данные, характеризующие эту зону, позволяют определить значение модуля упругости *Е.*

После достижения предела пропорциональности деформации начинают расти быстрее, чем нагрузка, и диаграмма становится криволинейной. На этом участке в не­посредственной близости от точки *А* находится точка *В,* соответствующая пределу упругости.

*Пределом упругости* σуп *называется максимальное на­пряжение, при котором в материале не обнаруживается признаков пластической* (остаточной) *деформации.*

Предел упругости существует независимо от закона прямой пропорциональности. Он характеризует начало перехода от упругой деформации к пластической.

У большинства металлов значения предела пропорциональности и предела упругости незначительно отлича­ются друг от друга. Поэтому обычно считают, что они практически совпадают. Для стали Ст3 σуп  = 205...210 МПа.

При дальнейшем нагружении криволинейная часть диаграммы переходят в почти горизонтальный участок *CD* — *площадку текучести.* Здесь деформации растут практически без увеличения нагрузки. Нагрузка *Fт*, соот­ветствующая точке *D,* используется при определении фи­зического предела текучести:

*σт = Fт/А0*

*Физическим пределом текучести* σт *называется наименьшее напряжение, при котором образец деформируется без заметного увеличения растягивающей нагрузки.* Для стали Сг3 σт =220…250 МПа.

Зона *BD* называется *зоной общей текучести.* В этой зоне значительно развиваются пластические деформации. При этом у образца повышается температура, изменяются электропроводность и магнитные свойства.

Образование пластической деформация в отдельных кристаллах образца происходит уже в начальной (упругой) стадии испытания. Однако эти деформации настоль­ко малы, что не обнаруживаются обычными приборами для измерения малых деформаций. С увеличением на­грузки пластическая деформация начинает накапливаться в микрообъемах образца, а с наступлением текучести эти очаги пластической деформации, сливаясь, захватывают уже макрообъемы образца металла. Необратимо деформированные области образца оказывают повышенное со­противление дальнейшему деформированию (материал упрочняется), и поэтому пластические деформации начи­нают развиваться в зонах, еще не подверженных этим деформациям. В дальнейшем пластическая деформация, переходя от одной зоны к другой, распространяется на весь объем рабочей части образца. Особенно наглядно фронт распространения пластической деформации вдоль образца можно наблюдать при испытании плоских полированных образцов. На поверхности таких образцов в момент возникновения очагов пластической деформа­ции появляются темные наклонные полосы, которые, как правило, с осью образца составляют углы, приблизитель­но равные 45° (линии Людерса — Чернова). Эти линии представляют собой микроскопические неровности, воз­никающие вследствие необратимых сдвигов, происходя­щих в кристаллах под действием наибольших касатель­ных напряжений.

Описанные явления вызывают изменение внутренней структуры металла, что приводит к его упрочнению. Диаграмма после зоны текучести снова становится криволинейной. Образец приобретает способность восприни­мать возрастающее усилие до значения *Fmax* — точка *Е* на диаграмме. Усилие *Fmax* используется для вычисления временного сопротивления:

σв = *Fmax /А0*

*Напряжение, соответствующее наибольшей нагрузке, предшествующей разрушению образца, называется временным сопротивлением.*

Для стали марки Ст3 временное сопротивление σв = 370…470 МПа.

Зона *DE* называется *зоной упрочнения.* Здесь удлинение образца происходит равномерно по всей его длине, первоначальная цилиндрическая форма образца сохраня­ется, а поперечные сечения изменяются незначительно и также равномерно.

При максимальном усилии или несколько меньшем его на образце в наиболее слабом месте возникает локальное уменьшение поперечного сечения — *шейка* (а иногда и две). Дальнейшая деформация происходят в этой зоне образца. Сечение в середине шейки продолжа­ет быстро уменьшаться, но напряжения в этом сечении все время растут, хотя растягивающее усилие иубывает. Вне области шейки напряжения уменьшаются, ипоэтому удлинение остальной части образца не происходит. Наконец, в точке *К* образец разрушается. Сила, соответст­вующая точи *К,* называется разрушающей *FК*,а напря­жения — *истинным сопротивлением разрыву* (истинным пределом прочности), которые равны

*SK=FK/AK*,

где *АK* — площадь поперечного сечения в месте разрыва.

Зона *ЕК* называется *зоной местной текучести.* Истинные напряжения в момент разрыва (в шейке) в образце из стали Ст3 достигают 900…1000 МПа.

Заметим, что иногда временное сопротивление называют пределом прочности. Строго говоря, такое допусти­мо только в том случае, когда разрыв образца проис­ходит без образования шейки. Это имеет место с хрупкими материалами, например с чугуном. Тогда наиболь­шая нагрузка практически совпадает с моментом раз­рушения и предел прочности оказывается почти равным истинному напряжению при разрыве. У пластичных материалов, например у стали марки Ст3, наибольшее значение нагрузка не соответ­ствует ее значению при разрушении образца и за характеристику прочности (условную) принимается временное сопротивление.

Интересен механизм разрушения образца из низкоуглеродистой стали. Образец разрушается, как правило, с образованием «чашечки» на одной его части и «кону­са» — на другой. Этот излом называют чашечным или изломом «чашечка — конус».

Помимо указанных характеристик прочности определяют *характеристики пластичности.*

*Относительное удлинение после разрыва* δ(%) — это отношение приращения расчетной длины образца после разрыва к ее первоначальному значению, вычисляемое по формуле:

*δ = ((lK-l0)/l0)100%*

Заметим, что относительное удлинение после разрыва зависит от отношения расчетной длины образца к его диаметру. С увеличением этого отношения значение δуменьшается, так как зона шейки (зона местной пластической деформации) у длинных образцов занимает от­носительно меньше места, чем в коротких образцах.

Другой характеристикой пластичности является *относительное сужение после разрыва ψ* (%), представля­ющее собой отношение уменьшения площади попереч­ного сечения образца в месте разрыва к начальной пло­щади поперечного сечения образца:

*ψ=((A0-AK)/A0)100%*

Иногда при вычислении значения *ψ* для цилиндрических образцов пользуются формулой:

*ψ=(((d0)2-dK)2)/(d0)2)100%*

Для стали марки Ст3 характеристики пластичности следующие: δ = 25…27% (при испытании коротких образ­цов); ψ=60…70%.

Если образец после нагрузки, соответствующей пре­делу текучести (рис. 3), разгрузить, то процесс разгруз­ки будет изображен линией *МО1,* почти параллельной первоначальному упругому участку диаграммы.

*Рис. 3*

 Удлине­ние, полученное образцом до начала разгружения, при разгрузке полностью не исчезает. Оно становится меньше на удлинение *Δlуп* упругой части (отрезок *О1О2*). Остаточ­ное удлинение *Δlост* (отрезок *ОO1)* называется также *пла­стическим удлинением*. Следовательно, за пределом уп­ругости полное удлинение образца состоит из двух ча­стей — упругой и пластической:

*Δl = Δlуп+ Δlост,*

а до предела упругости — только из чисто упругой: *Δlост = 0*.

Если после разгрузки образца его тут же снова нагру­зить, то процесс повторного нагружения изобразится ли­нией *О1М*, которая почти совпадает с линией *МО1*, описы­вающей процесс нагрузки. При этом линия нагрузки проходит через ту же точку диаграммы, с которой начал­ся процесс разгрузки. Обе линии (разгрузки и нагрузки) образуют петлю — *петлю гистерезиса*. После полно­го цикла образец возвращается к своему первоначаль­ному состоянию; это явление носит название *упругого гистерезиса.* Площадь петли гистерезиса соответствует потерям механической энергии за один цикл, которые весьма малы. Эти потери вызываются так называемым внутренним (молекулярным) трением. Силы трения сове­ршают необратимую работу, что приводит к диссипации (рассеянию) механической энергии в виде тепловой энер­гии.

При дальнейшем нагружении (после точки *М)* кривая продолжается так, как будто не было промежуточной разгрузки. Следовательно, у образца после предварительного деформирования улучшились упругие свойства.

Явление повышения упругих свойств материала в результате предварительного пластического деформирова­ния называется *наклепом.*

Наклеп наблюдается не у всех материалов и даже не у всех металлов, таких, например, как свинец, олово и др. Оно широко используется в технике (цепи и канаты подъем­ных машин, некоторые виды арматуры железобетонных конструкций, цилиндры гидравлических прессов, турбин­ные диски и другие элементы машин и механизмов).

**Условная иистинная диаграммы.**

Диаграмма растяже­ния *F=f(Δl)* (рис. 2) характеризует свойства образ­ца, так как зависит от его размеров. Для оценки механи­ческих свойств материала диаграмму растяжения пере­страивают в координатах «напряжение—деформация»; все ординаты делят на первоначальную площадь попе­речного сечения *А0,* а все абсциссы — на первоначальную длину рабочей части *l0*. В результате получаем *диаграмму* *напряжений σ =f(ε)* (рис. 4), которая имеет тот же вид, что и диаграмма *F=f(Δl),* так как *А0* и *l0* постоянны.

*Рис. 4*

Эта диаграмма является *условной,* поскольку при ее постро­ении не учитывается изменение значений *А0* и *l0* в процессе испытания. Поэтому определенные ранее пределы пропорциональности и текучести и временное сопротивление являются условными. Истинные же напряжения в каждый момент нагружения будут больше условных.

Условные диаграммы напря­жении используются на практике для определения меха­нических характеристик материалов, а также для опреде­ления модуля упругости *Е: E=tg α = σ/ε*, т. е. значение модуля упругости есть тан­генс угла наклона прямолинейного участка диаграммы к оси абсцисс.

**Диаграмма низколегированной стали.**

Диаграмма рас­тяжения низколегированной стали изображена на рис. 5. Аналогичную диаграмму имеют и другие пластич­ные материалы, например красная медь, сплавы алюми­ния.

*Рис. 5*

В начале диаграммы между нагрузкой и деформацией тоже соблюдается прямо пропорциональная зависимость (закон Гука). Точка, где эта зависимость нарушается, соответствует пределу пропорциональности. После точки *А* прямолинейный участок диаграммы плавно переходит в криволинейный — зону пластических деформаций.

На диаграмме растяжения нет площадки текучести. Поэтому вместо физического предела текучести определяют *условный предел текучести σ0,2* (точка *D* на рис. 5) — напряжение, при котором остаточное удлинение достигает 0,2% от рабочей длины образца:

*σ0,2=F0.2/A0*

Для определения нагрузки *F0.2* вычисляется значение заданного остаточного удлинения *l0.2* исходя из рабочей длины образца. Отрезок, соответствующий остаточной деформации *l0.2,* откладываем вправо от точки *О* (на рис. 5 — отрезок *ON).* Из точки *N* проводится прямая, параллельная прямой *ОА,* до пересечения с диаграммой растяжения. Ордината точки пересечения *D* равна нагруз­ке *F0.2.*

В криволинейной части диаграммы нагрузки увеличиваются вместе с увеличением деформаций, которые про­исходят по всей длине образца. При приближении к мак­симальной нагрузке на образце появляется местное суже­ние — шейка. На диаграмме этому состоянию соответ­ствует точка *Е.*

После точки *Е* нагрузка начинает уменьшаться, дефо­рмация образца концентрируется в основном в области шейки. Поперечное сечение шейки уменьшается, и при нагрузке *Fk* образец разрушается — точка *К.*

Следует отметить, что участок диаграммы *ЕК у* низкоуглеродистой стали длиннее, чем у низколегированной. Это указывает на то, что низколегированная сталь об­ладает меньшей пластичностью, поэтому шейка у нее является менее выраженной. Механические же характери­стики прочности выше у низколегированной, чем у низкоуглеродистой стали.

**Механизм образования деформации.**

Реальные технические металлы и их сплавы состоят из большого числа *кристаллических зерен,* или *кристаллитов,* ориентирован­ных произвольным образом. Так, уменьшение размеров зерен приводит к увеличению про­чности на разрыв, а также пластичности и вязкости.

Внутри кристалла находятся атомы металла, располо­женные в определенном порядке. Они образуют более или менее правильную трехмерную *кристаллическую решетку.*

Между атомами дей­ствуют либо силы притяжения, либо силы отталкивания. Сила взаимодействия междудвумя соседними атомами складывается из этих сил. На рис. 6 показана схема распределения сил отталкивания (кривая 1) и притяжения (кривая 2), а также результирующей силы (кривая 3).

*Рис. 6*

При расположении атомов на расстоянии *r0* сила взаимодействия между ними равна нулю и атомы находятся в *равновесном положении*.

Любая попытка не­значительного перемещения атомов из равновесного положения приводит к возникновению сил, стремящихся вернуть их в прежнее состояние.

При переме­щении атомав новое положение каждый предыдущий атом занимает место последу­ющего, в итоге все атомы перемещаются из своих прежних положений в эквивалентные узлы кристаллической решетки на одно межатомное расстояние. В результате такого необратимого смешения атомов начинается *пластическое деформирование.*

Пе­ренос вещества, возникающий благодаря пластичности кристаллов, происходит с помощью *дислокации,* т. е. не­совершенств, дефектов кристаллической решетки в ме­стах, где имеются атомы или группы атомов, смещенные из положения устойчивого равновесия.

Таким образом, пластическая деформация являете результатом необратимых смещений атомов (сдвигов), обусловленных движением дислокаций. Движение дислокаций обычно вызывает макроскопическую пластическую деформацию материала и сопровождается динамическими явлениями: выделением теплоты в результате колебаний атомов около вновь приобретенного положения равновесия и возникновением акустических эффектов.