

Альшохоф Хатем
Студент 1 курс (магистратура),
кафедра «Нанотехнологии», институт перспективных технологий и
индустриального программирования, РТУ МИРЭА
Россия, г. Москва

ОСНОВНЫЕ ВИДЫ СТАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ МЕТАЛЛОВ

***Аннотация:** В данной статье рассмотрены основные виды статических и динамических испытаний металлов, имеющих практическое значение для изучения их механических свойств, которые определяют их поведение при эксплуатации и обработке. Для оценки механических свойств в связи с многообразием их эксплуатации и обработки проводят испытания, в той или иной мере имитирующие реальные условия. Результаты испытаний используются для решения основной задачи – повышение качества металлических материалов, в частности улучшение их механических свойств.*

***Ключевые слова:** металлы, свойства металлов, статистические испытания металлов, динамические испытания металлов*

***Abstract:** This article discusses the main types of static and dynamic tests of metals that are of practical importance for studying their mechanical properties, which will determine their behavior during operation and processing. In order to assess the mechanical properties due to the variety of their operation and processing, tests are carried out that simulate real conditions to one degree or another. The test results are used to solve the main task – improving the quality of metal materials, in particular improving their mechanical properties.*

***Keywords:** metals, properties of metals, statistical tests of metals, dynamic tests of metals*

Механические свойства металлов. Упругая и пластическая деформация

Под действием сил или системы сил металлический образец реагирует на это, изменяя свою форму (деформируется). Различные характеристики, которыми определяются поведение и конечное состояние металлического образца в зависимости от вида и интенсивности сил, называются механическими свойствами металла.

Интенсивность силы, действующей на образец, называется напряжением и измеряется как полная сила, отнесенная к площади, на которую она действует. Под деформацией понимается относительное изменение размеров образца, вызванное приложенными напряжениями.

Деформация называется упругой, если после снятия нагрузки тело восстанавливает свою первоначальную форму.

Некоторые металлические конструкции намеренно проектируют так, чтобы они упруго деформировались. Так, от пружин обычно требуется довольно большая упругая деформация. В других случаях упругую деформацию сводят к минимуму. Мосты, балки, механизмы, приборы делают по возможности более жесткими. Упругая деформация металлического образца пропорциональна силе или сумме сил, действующих на него. Это выражается законом Гука, согласно которому напряжение равно упругой деформации, умноженной на постоянный коэффициент пропорциональности, называемый модулем упругости: $\sigma = \varepsilon E$, где σ – напряжение, ε – упругая деформация, а E – модуль упругости (модуль Юнга). Модули упругости ряда металлов представлены в таблице 1.

Таблица 1. Наименования металлов и их модули Юнга

Металл	Вольфрам	Железо (сталь)	Медь	Алюминий	Магний	Свинец
Модуль Юнга, 10^5 МПа	3,5	2,0	1,1	0,70	0,45	0,18

Когда к металлическому образцу прикладываются напряжения, превышающие его предел упругости, они вызывают пластическую (необратимую) деформацию, приводящую к необратимому изменению его формы. Более высокие напряжения могут вызвать разрушение материала.

Важнейшим критерием при выборе металлического материала, от которого требуется высокая упругость, является предел текучести. У самых лучших пружинных сталей практически такой же модуль упругости, как и у самых дешевых строительных, но пружинные стали способны выдерживать гораздо большие напряжения, а следовательно, и гораздо большие упругие деформации без пластической деформации, поскольку у них выше предел текучести.

Пластические свойства металлического материала (в отличие от упругих свойств) можно изменять путем сплавления и термообработки. Так, предел текучести железа подобными методами можно повысить в 50 раз. Чистое железо переходит в состояние текучести уже при напряжениях порядка 40 МПа, тогда как предел текучести сталей, содержащих 0,5% углерода и несколько процентов хрома и никеля, после нагревания до 950° С и закалки может достигать 2000 МПа.

Когда металлический материал нагружен с превышением предела текучести, он продолжает деформироваться пластически, но в процессе деформирования становится более твердым, так что для дальнейшего увеличения деформации требуется все больше повышать напряжение. Такое явление называется деформационным или механическим упрочнением (а также наклепом). Его можно продемонстрировать, скручивая или многократно

перегибая металлическую проволоку. Деформационное упрочнение металлических изделий часто осуществляется на заводах. Листовую латунь, медную проволоку, алюминиевые стержни можно холодной прокаткой или холодным волочением довести до уровня твердости, который требуется от окончательной продукции.

Свойства металлов при статических испытаниях

Во многих случаях металлические материалы в конструкциях работают под статическими нагрузками. Поэтому для оценки механических свойств широко используются статические испытания, которые проводятся с применением разных схем напряженного состояния в образце. К основным разновидностям статических испытаний относятся испытания на растяжение, сжатие, изгиб и кручение.

Растяжение

Соотношение между напряжением и деформацией для материалов часто исследуют, проводя испытания на растяжение, и при этом получают диаграмму растяжения – график, по горизонтальной оси которого откладывается деформация, а по вертикальной – напряжение (рисунок 1).

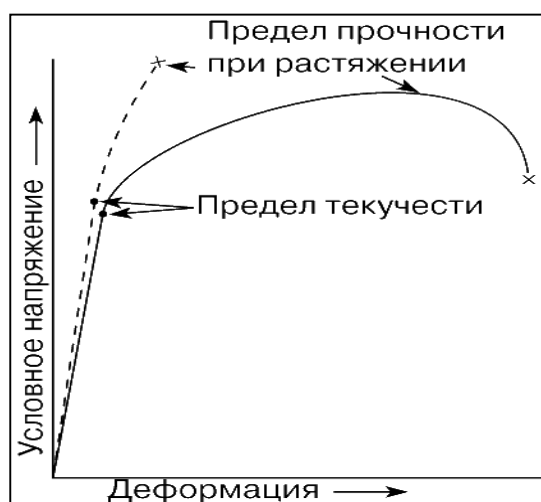


Рисунок 1 — Диаграммы растяжения

При растяжении поперечное сечение образца уменьшается (а длина увеличивается), напряжение обычно вычисляют, относя силу к исходной площади поперечного сечения, а не к уменьшенной, которая давала бы истинное напряжение. При малых деформациях это не имеет особого значения, но при больших может приводить к заметной разнице. На рисунок 1 представлены кривые деформация – напряжение для двух материалов разной пластичности: сравнительно хрупкого (штриховая линия) и более пластичного (сплошная линия). Пределы текучести обоих металлов почти совпадают. Более хрупкий металл разрушается по достижении своего предела прочности при растяжении, а более пластичный – пройдя через свой предел прочности. (Пластичность – это способность материала удлиняться без разрушения, но и без возврата к первоначальной форме после снятия нагрузки.) Начальный линейный участок как одной, так и другой кривой заканчивается в точке предела текучести, где начинается пластическое течение. Для менее пластичного материала высшая точка диаграммы, его предел прочности на растяжение, соответствует разрушению. Для более пластичного материала предел прочности на растяжение достигается тогда, когда скорость уменьшения поперечного сечения при деформировании становится больше скорости деформационного упрочнения. На этой стадии в ходе испытания начинается образование «шейки» (локальное ускоренное уменьшение поперечного сечения). Хотя способность образца выдерживать нагрузку уменьшается, материал в шейке продолжает упрочняться. Испытание заканчивается разрывом шейки.

Типичные значения величин, характеризующих прочность на растяжение ряда сплавов, представлены в табл. 2. Нетрудно видеть, что эти значения для одного и того же материала могут сильно различаться в зависимости от обработки.

Таблица 2. Характеристики металлов и сплавов

Металлы и сплавы	Состояние	Предел текучести, МПа	Предел прочности на растяжение, МПа	Удлинение, %
Малоуглеродистая сталь (0,2% С)	Горячекатанная	300	450	35
Среднеуглеродистая сталь (0,4% С, 0,5%Mn)	Упрочненная и отпущенная	450	700	21
Высокопрочная сталь (0,4% С, 1,0% Mn, 1,5% Si, 2,0% Cr, 0,5% Mo)	Упрочненная и отпущенная	1750	2300	11

Испытание на растяжение

Испытание на одноосное растяжение – наиболее распространенный вид испытаний для оценки механических свойств металлов и сплавов – сравнительно легко подвергаются анализу, позволяют по результатам одного опыта определять сразу несколько важных механических характеристик материалов, являющихся критерием его качества и необходимых для конструкторских расчетов.

Методы испытаний на растяжение стандартизованы. Имеются отдельные стандарты на испытания при комнатной температуре (ГОСТ 1497), при повышенных до 1473 К (ГОСТ 9651) и пониженных от 273 до 173 К (ГОСТ 11150) температурах.

Образцы и машины для испытаний на растяжение

Для испытаний на растяжение используют образцы с рабочей частью в виде цилиндра (цилиндрические образцы) или стержня с прямоугольным сечением (плоские образцы). Помимо основной рабочей части, большинство образцов имеет головки различной конфигурации для крепления в захватах.

Основные размеры образца рисунок 2:

- 1) рабочая длина l – часть образца между его головками или участками для захвата с постоянной площадью поперечного сечения;
- 2) начальная расчетная длина l_0 – участок рабочей длины, на котором определяется удлинение;
- 3) начальный диаметр рабочей части d_0 для цилиндрических или начальная толщина a_0 и ширина b_0 рабочей части для плоских чертежей.

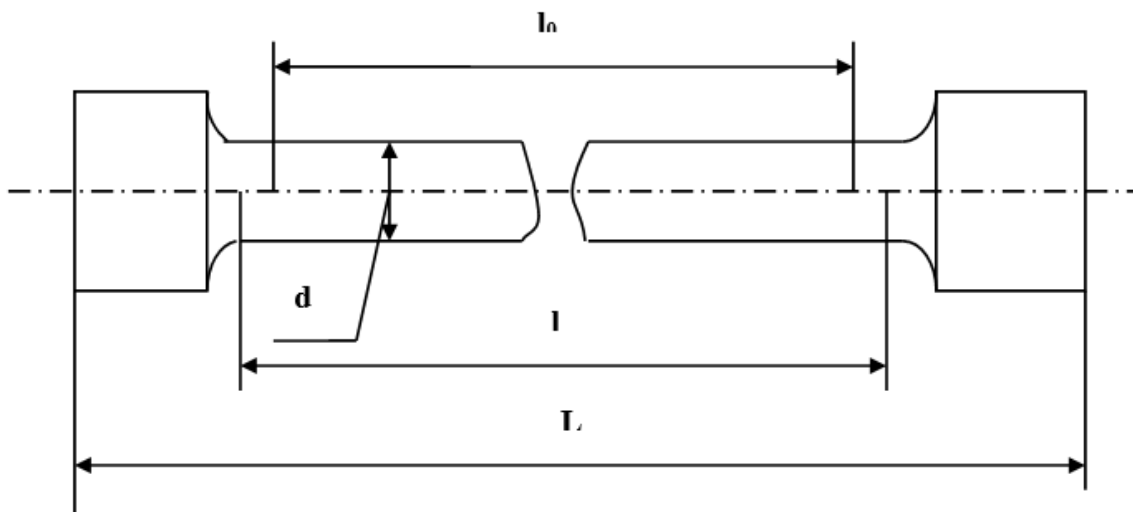


Рисунок 2 — Образец для испытания на одноосное растяжение

Машины для испытаний на растяжение разнообразны. Многие из них универсальны и могут быть использованы при проведении других статических испытаний. Современные машины высшего класса представляют собой сложные автоматизированные устройства, они оснащаются ЭВМ, которые позволяют проводить расчет любых характеристик свойств в процессе

испытаний или сразу по его окончании. Основные узлы испытательной машины:

- приводное устройство, обеспечивающее плавное деформирование образца;
- силоизмерительный механизм для измерения силы сопротивления образца создаваемой деформации.

По принципу действия приводного устройства различают машины с механическим и гидравлическим приводами. Машины с механическим приводом обычно имеют меньшую мощность; они, как правило, рассчитаны на разрушающие усилия не более 0,1 – 0,15 МН. Гидравлический привод используется в машинах большей мощности, рассчитанных на нагрузки до 1 МН и выше.

Методики испытаний на растяжение

Основные требования к методике испытаний оговорены в стандартах. Эти требования следует рассматривать как минимальные. При выполнении, например, исследовательских работ требования могут быть значительно повышены. Соблюдение стандартной методики испытания особенно важно в тех случаях, когда результаты являются критерием качества продукции или паспортными характеристиками.

Перед испытанием каждый образец маркируют, измеряют и размечают. Маркировку наносят вне пределов рабочей длины образца. Измерение размеров образцов до испытания проводят не менее чем в трех местах - в средней части и на границах рабочей длины. Диаметр цилиндрических образцов следует измерять с точностью не ниже 0,01 при $d_0 \leq 10$ мм и 0,05 мм при $d_0 < 10$ мм. С такой же точностью следует измерять толщину плоских образцов. Для определения начальной площади поперечного сечения F_0 необходимые геометрические размеры образцов измеряют с погрешностью не

более $\pm 0,5\%$. За начальную площадь поперечного сечения образца в его рабочей части F_0 принимают наименьшее из полученных значений на основании произведенных измерений с округлением по ГОСТ 1497. Все размеры после испытаний определяют с точностью не ниже 0,1 мм. Для получения более точных результатов используют инструментальные микроскопы.

Каждый размер следует измерять несколько раз. Например, ГОСТ 1497—73 обязывает производить замер диаметра в середине и по краям рабочей части образца с последующим определением среднего значения, по которому рассчитывают площадь его поперечного сечения.

К методике проведения испытаний на растяжение при повышенных и отрицательных температурах предъявляют ряд специфических требований. При высокотемпературных испытаниях нагревательные устройства (термостаты и печи самых разнообразных конструкций) должны обеспечивать равномерный нагрев образца в пределах расчетной длины и поддержание заданной температуры в установленных пределах в течение всего времени испытания. Рекомендуется, чтобы длина рабочего пространства печи была как минимум в пять раз больше начальной расчетной длины образца. При высокотемпературных испытаниях следует особое внимание уделять надежности крепления головок образцов в захватах, иначе возможно сильное искажение результатов из-за деформации, выскользывания из захватов и преждевременного разрыва образца у головок, размягчающихся при нагреве. Поэтому при высокотемпературных испытаниях используют чаще всего цилиндрические образцы с резьбовыми головками, или плоские с отверстием, в которое вставляют проходящий через захват поперечный стержень. Точность поддержания температуры в образце тем меньше, чем она выше. До 873 К эта точность не должна быть ниже ± 3 , от 873 до 1173— ± 4 , от 1173 до 1473 К— ± 6 К. Время выдержки при температуре испытания, а также скорость нагрева могут существенно сказываться на механических свойствах. Обычно

образцы выдерживают 5—30 мин. Скорость нагрева до заданной температуры, как правило, должна быть по возможности минимальной.

При повышенных температурах на свойствах многих металлов сильно сказывается окружающая образец среда. В частности, при нагреве, выдержке и в процессе испытания возможно взаимодействие материала образца с газами воздуха. За счет окисления, азотизации или наводороживания механические свойства могут кардинально изменяться. Поэтому при высоко температурных испытаниях часто приходится использовать вакуумные печи с защитной атмосферой, например инертными газами (чаще всего аргоном). Тяги захватов при этом вводят в рабочее пространство печи через специальные устройства — сильфоны, позволяющие захватам перемещаться без разгерметизации внутреннего объема печи.

Для низкотемпературных испытаний между захватами машины устанавливают сосуд с теплоизолирующими стенками, содержащий охлаждающую жидкость. Емкость такой камеры должна быть достаточно большой для того, чтобы обеспечить быстрое охлаждение и возможность поддержания заданной температуры образца при испытании.

До 213 К в качестве охлаждающей среды используют смесь этилового спирта разных сортов с сухим льдом. Диапазон температур 213—173 К получается в смесях чистого этилового спирта с жидким азотом. Использование жидкого азота без спирта позволяет получить температуру 77 К. Изменение температуры охлаждающих смесей достигается за счет изменения соотношения компонентов. Кроме жидких охладителей, используются холодильные камеры с воздушной атмосферой. Допускаемые отклонения от заданной температуры испытания не должны быть больше ± 2 до 213 К и ± 5 ниже 213 К. Время выдержки при температуре испытания обычно составляет 10—20 мин в зависимости от размера образца. Для измерения отрицательных температур рекомендуется использовать

жидкостные (нертутные) или термоэлектрические термометры сопротивления.

Сжатие

Упругие и пластические свойства при сжатии обычно весьма сходны с тем, что наблюдается при растяжении (рисунок 3). Кривая соотношения между условным напряжением и условной деформацией при сжатии проходит выше соответствующей кривой для растяжения только потому, что при сжатии поперечное сечение образца не уменьшается, а увеличивается. Если же по осям графика откладывать истинное напряжение и истинную деформацию, то кривые практически совпадают, хотя при растяжении разрушение происходит раньше.

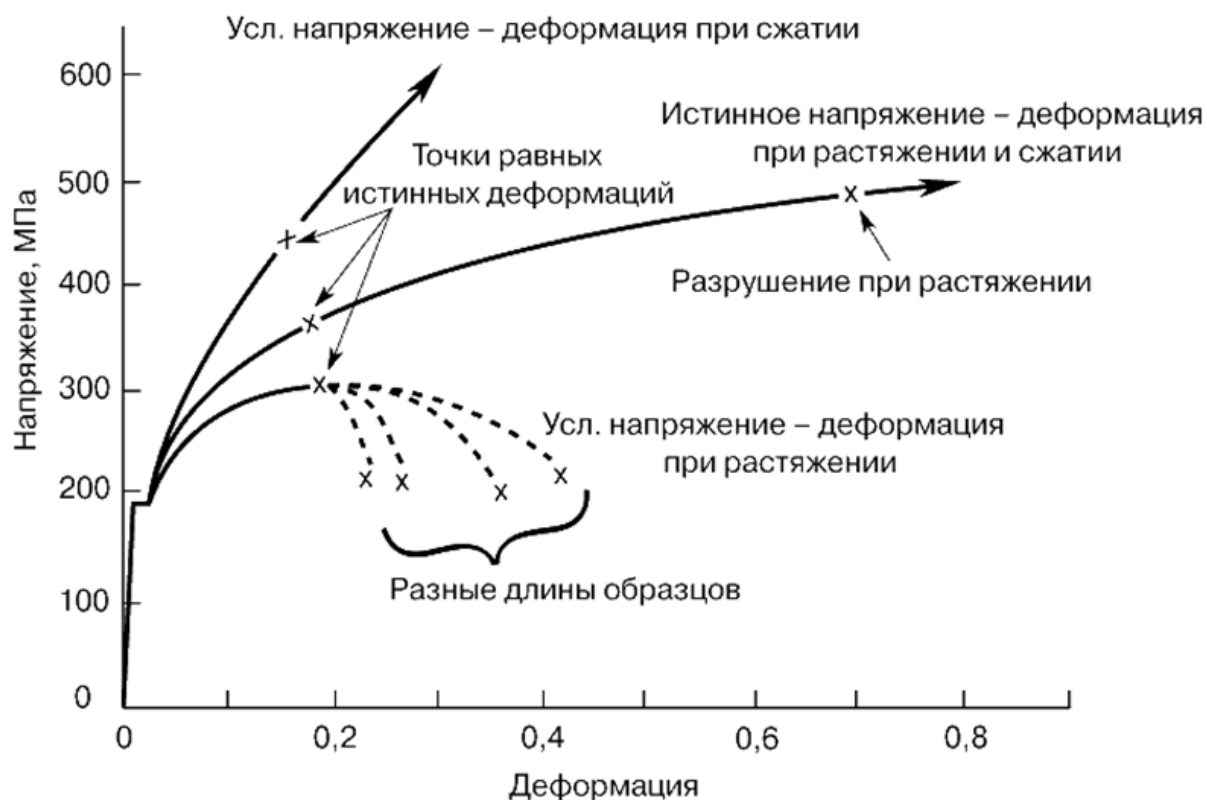


Рисунок 3 — Диаграммы растяжения и сжатия

Схема одноосного сжатия характеризуется большим коэффициентом мягкости ($a = 2$) по сравнению с растяжением ($a = 0,5$), поэтому испытаниям на сжатие целесообразно подвергать относительно хрупкие материалы. На

практике по этим испытаниям оценивают свойства чугуна и других хрупких сплавов.

Схема испытания на сжатие и геометрия используемых образцов показаны на рисунке 4. Испытания проводят на тех же машинах, что и растяжение. Образец устанавливают на опорную плиту в нижнем захвате и сжимают подвижным захватом. Для устранения перекоса образца усилие сжатия следует передавать на него с помощью какого-либо направляющего приспособления, например шарового вкладыша в верхнем захвате (рисунок 4,а).

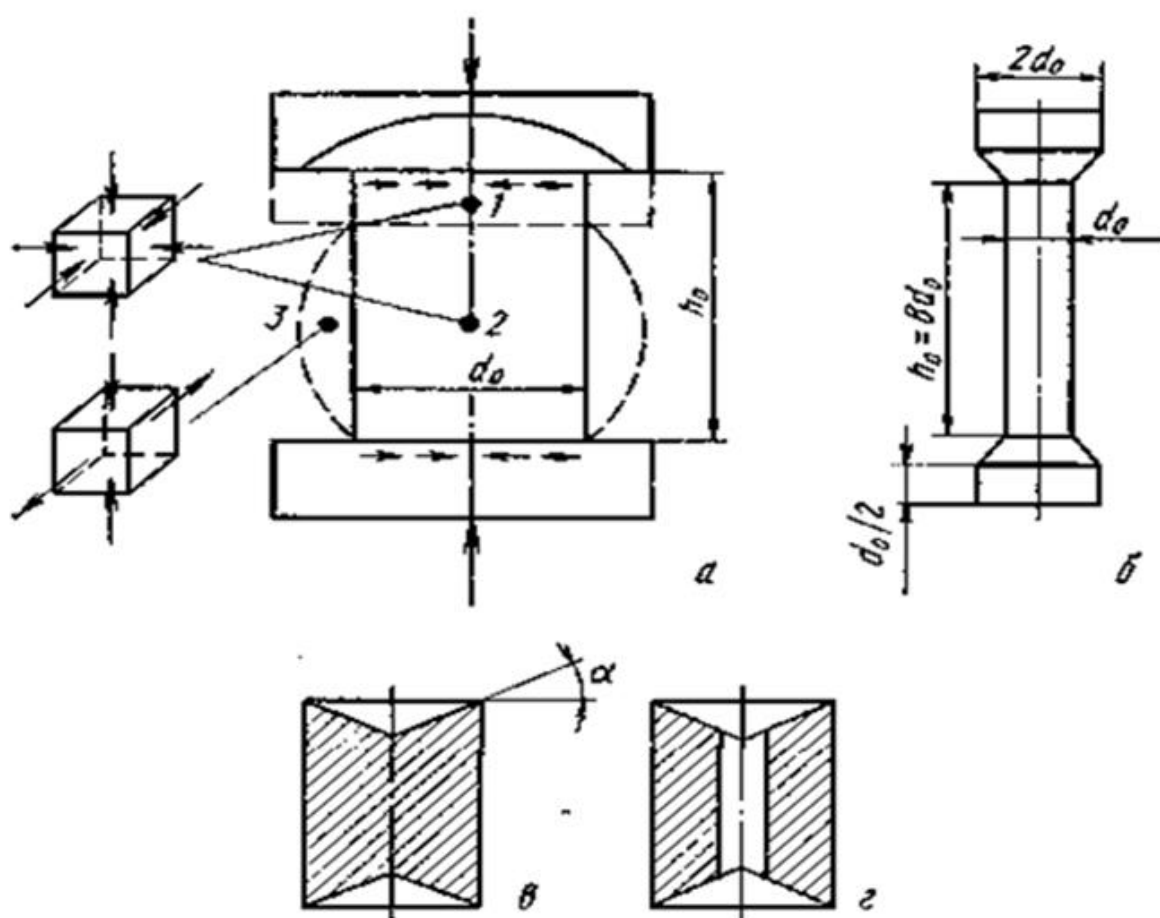


Рисунок 4 — Схема (а) и формы образцов (б - г) для испытания на сжатие

По мере сжатия на торцовых поверхностях образца возникают силы трения, направленные по радиусам к его центру и препятствующие деформации в горизонтальном направлении. В результате образец приобретает характерную бочкообразную форму (рисунок 4, а), а схема

напряженного состояния усложняется и становится различной в разных точках образца. В точках 1 и 2, например, возникает схема объемного сжатия, а в точке 3—разноименное плоское напряженное состояние. Неоднородность напряженного состояния образца в практике не учитывают, рассчитывая прочностные характеристики при сжатии по тем же формулам, что и при растяжении. Это придает дополнительную условность определяемым свойствам. Поэтому стараются уменьшить силы трения на опорных поверхностях образца, что достигают обычно одним из следующих способов или их сочетанием:

1. введением различных смазок (вазелин, солидол) и прокладок (тефлон, пропитанная парафином фильтровальная бумага) между торцовыми поверхностями образца и опорными плитами;

2. использованием подкладок и образцов с конической поверхностью на торцах (рисунок 4, в). Углы конусности α подбирают так, чтобы $\operatorname{tg} \alpha$ был равен коэффициенту трения;

3. помимо конусности, в образце делают центральное отверстие, устраняющее концентрацию напряжений у острия конуса (рисунок 4, г).

Но полностью устранить контактные силы трения и обеспечить в течение всего испытания линейное напряженное состояние в образце не удается. Это принципиальный недостаток испытаний на сжатие.

Чем меньше отношение высоты образца к диаметру, тем сильнее контактное трение влияет на результаты испытаний. С этих позиций следовало бы проводить испытания на возможно более длинных образцах. Но при сжатии длинных образцов трудно избежать их продольного изгиба. Как показывает опыт, оптимальной для цилиндрического образца является величина отношения h_0/d_0 в пределах 1-3.

Для определения модуля нормальной упругости при сжатии, пределов упругости и пропорциональности иногда используют плоские образцы в виде пластин толщиной 2—5 мм, длиной 100 и шириной 20 мм. Они испытываются

в специальных приспособлениях, обеспечивающих их продольную устойчивость.

Значения прочностных характеристик при сжатии, особенно предела прочности, обычно значительно выше, чем при растяжении. Например, по данным Е. М. Савицкого, предел прочности, МПа, редкоземельных металлов при сжатии в 2—3 раза выше, чем при растяжении, что видно из следующих данных:

Таблица 3. Наименования металлов, значения их растяжений и сжатий

Металл	Растяжение	Сжатие
Иттрий	230	800
Лантан	130	293
Церий	110	300

Схемы сжатия используют в технологических пробах для оценки деформационной способности полуфабрикатов и изделий. Стандартизованы пробы на осадку (ГОСТ 8817—73) и расплющивание (ГОСТ 8818—73). С их помощью по появлению трещин определяют годность или негодность материала после деформации сжатием на заданную величину.

Испытания на изгиб

Применение испытаний на изгиб обусловлено широкой распространенностью этой схемы нагружения в реальных условиях эксплуатации и большей ее мягкостью по сравнению с растяжением, что дает возможность оценивать свойства материалов, хрупко разрушающихся при растяжении. Испытания на изгиб удобны для оценки температур перехода из хрупкого состояния в пластичное. При испытаниях на изгиб применяют две схемы нагружения образца, лежащего на неподвижных опорах:

1. нагрузка прикладывается сосредоточенной силой на середине

расстояния между опорами;

2. нагрузка прикладывается в двух точках на одинаковом расстоянии от опор.

Экспериментально первую схему реализовать гораздо проще, поэтому она и нашла наибольшее распространение. Следует учитывать, что вторая схема «чистого изгиба» во многих случаях обеспечивает более надежные результаты, поскольку здесь максимальный изгибающий момент возникает на определенном участке длины образца, а не в одном сечении, как при использовании первой схемы.

В изгибаемом образце создается неоднородное напряженное состояние, зависящее от геометрии образца и способа нагружения. При чистом изгибе узких образцов с прямоугольным сечением напряженное состояние в каждой точке можно считать линейным. В широких образцах (с отношением ширины к высоте сечения более трех) при обеих схемах изгиба создается двухосное напряженное состояние из-за затруднения поперечной деформации. Нижняя часть образца оказывается растянутой, верхняя — сжатой. К тому же напряжения, связанные с величиной изгибающего момента, различны по длине и сечению образца. Максимальные напряжения возникают вблизи поверхности. Все это затрудняет оценку средних истинных напряжений и деформаций, строго характеризующих механические свойства при изгибе.

Образцы для испытаний на изгиб не имеют головок. Это еще одно преимущество по сравнению с растяжением, так как изготовление образцов с головками, особенно из хрупких материалов, значительно сложнее. На изгиб испытывают прямоугольные или цилиндрические стержни. Для определения свойств отливок из чугуна используют цилиндрические образцы диаметром 30 ± 1 и длиной 340 или 650 мм (при растяжении между опорами 300 и 600 мм соответственно). Для исследовательских целей испытания на изгиб обычно ведут на цилиндрических образцах с $d_0 = 2-10$ мм и расстоянием между опорами $l > d_0$ или плоских образцах с высотой $b=1-3$, шириной $h=3-15$ мм и

$t \geq 10h$. Для оценки характеристик конструкционной прочности рекомендуется применять образцы большого сечения до 30×30 мм.

Испытания на изгиб можно проводить на любой универсальной испытательной машине, используемой для испытаний на растяжение. Образец устанавливают на опорную плиту в нижнем захвате и деформируют изгибающим ножом, крепящимся в верхнем захвате машины. Для уменьшения трения опоры, на которых лежит образец, часто делают из роликоподшипников. Образец изгибается при опускании верхнего или подъеме нижнего захвата.

Простота испытания на изгиб и наглядность получаемых при этом характеристик пластичности привели к разработке ряда технологических проб, которые применяются в заводских условиях. Задача всех этих проб — оценить пластичность деформированных полуфабрикатов, отливок и изделий (листов, труб, проволоки и др.). ГОСТ 14019—80 «Методы испытаний на изгиб» предусматривает изгиб сосредоточенной силой плоских образцов из проката, поковок и отливок, помещаемых на две опоры. Критерием годности продукции может быть: а) заданный угол загиба образцов β (см. рисунок б, б) появление первой трещины после загиба на угол β , равный или больший заданного; в) возможность загиба пластины до параллельности (см. рисунок б, в) или соприкосновения сторон (см. рисунок б, г). Существуют также пробы на перегиб листа, ленты и проволоки, в которых фиксируют заданное число перегибов либо количество перегибов, после которых появились трещины или образец разрушился.

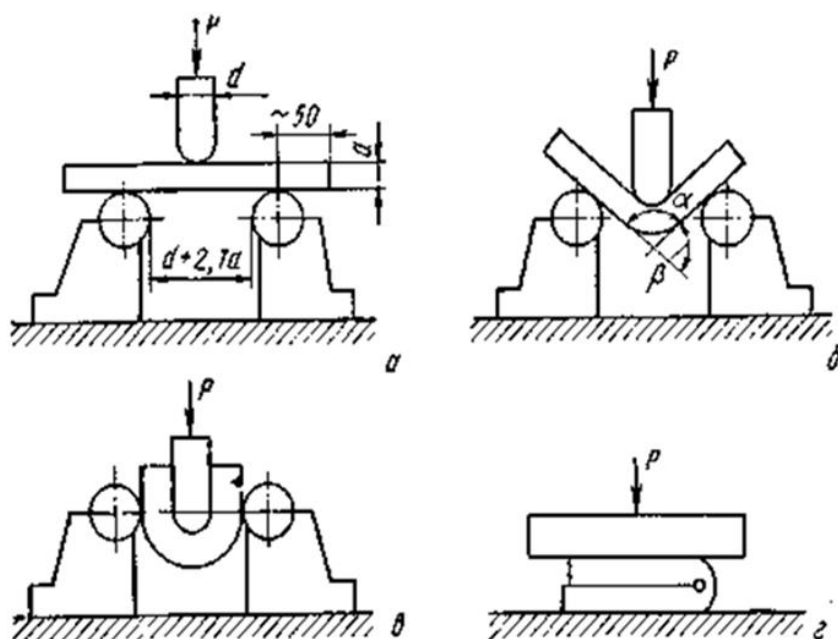


Рисунок 5 — Технологическая проба на изгиб: а) образец перед испытанием; б) загиб до определенного угла; в) загиб до параллельности сторон; г) загиб до соприкосновения сторон.

Свойства при динамических испытаниях

При эксплуатации различные детали и конструкции часто подвергаются ударным нагрузкам. В качестве примера можно привести переезд автомобиля через выбоину на дороге, взлет и посадку самолетов, высокоскоростную обработку металла давлением (при ковке и штамповке) и др. Для оценки способности металлических материалов переносить ударные нагрузки используют динамические испытания, которые широко применяются также для выявления склонности металлов к хрупкому разрушению. Стандартизованы и наиболее распространены ударные испытания на изгиб образцов с надрезом. Помимо них используются методы динамического растяжения, сжатия и кручения. Скорости деформирования и деформации при динамических испытаниях на несколько порядков больше, чем при статических.

Ударная вязкость.

Вязкость противоположна хрупкости. Это способность материала сопротивляться разрушению, поглощая энергию удара. Например, стекло хрупкое, потому что оно не способно поглощать энергию за счет пластической деформации. При столь же резком ударе по листу мягкого алюминия не возникают большие напряжения, так как алюминий способен к пластической деформации, поглощающей энергию удара.

Существует много разных методов испытания металлов на ударную вязкость. При использовании метода Шарпи призматический образец металла с надрезом подставляют под удар отведенного маятника. Работу, затраченную на разрушение образца, определяют по расстоянию, на которое маятник отклоняется после удара. Такие испытания показывают, что стали и многие металлы ведут себя как хрупкие при пониженных температурах, но как вязкие – при повышенных. Переход от хрупкого поведения к вязкому часто происходит в довольно узком температурном диапазоне, среднюю точку которого называют температурой хрупко-вязкого перехода. Другие испытания на ударную вязкость тоже указывают на наличие такого перехода, но измеренная температура перехода изменяется от испытания к испытанию в зависимости от глубины надреза, размеров и формы образца, а также от метода и скорости ударного нагружения. Поскольку ни в одном из видов испытаний не воспроизводится весь диапазон рабочих условий, испытания на ударную вязкость ценны лишь тем, что позволяют сравнивать разные материалы. Тем не менее, они дали много важной информации о влиянии сплавления, технологии изготовления и термообработки на склонность к хрупкому разрушению. Температура перехода для сталей, измеренная по методу Шарпи с V-образным надрезом, может достигать $+90^{\circ}\text{C}$, но соответствующими легирующими присадками и термообработкой ее можно понизить до -130°C .

Динамические испытания на изгиб образцов с надрезом.

При динамических испытаниях закон подобия не действует. Поэтому здесь необходима жесткая унификация размеров образцов и условий проведения испытания. Основным образцом по ГОСТ 9454—78 служит стержень с квадратным сечением 10ХЮ мм и длиной 55 мм (рисунок 6).

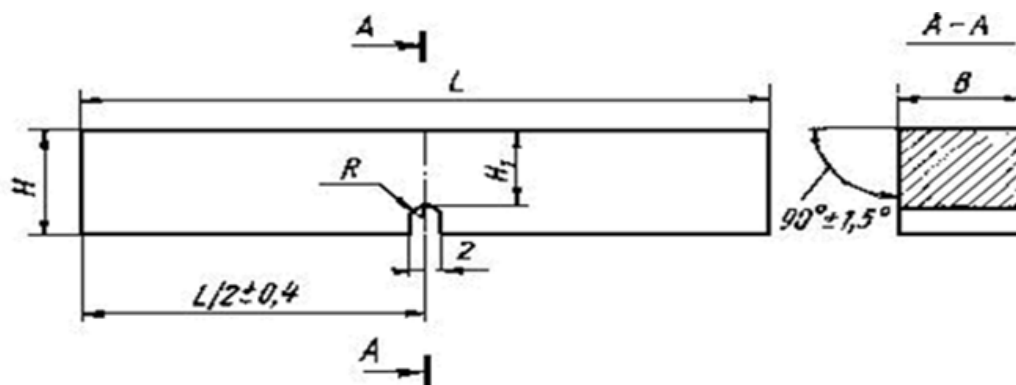


Рисунок 6 — Образец с U-образным надрезом для испытаний на ударный изгиб

В образцах Шарпи U-образный надрез наносится посередине длины. Он имеет ширину и глубину 2 и радиус закругления 1 мм. Образцы с V-образным концентратором имеют те же габариты и отличаются только геометрией надреза. Третий тип образцов, предусмотренный ГОСТ 9454—78, имеет T-образный концентратор (надрез с усталостной трещиной).

Образцы с V-образным концентратором (образцы Менаже) являются основными и используются при контроле металлических материалов для ответственных конструкций (летательных аппаратов, транспортных средств и т.д.). Образцы Шарпи с U-образным надрезом рекомендуется применять при выборе и приемочном контроле металлов и сплавов до установления норм на образцы с V-образным концентратором. Образцы с надрезом и трещиной предназначены для испытания материалов, работающих в особо ответственных конструкциях, где сопротивление развитию трещины имеет первостепенное значение.

Испытания на изгиб проводят на маятниковых копрах с предельной энергией, не превышающей 300 Дж.

Образец кладут горизонтально в специальный шаблон, обеспечивающий установку надреза строго в середине пролета между опорами. Удар наносят со стороны, противоположной надрезу, в плоскости, перпендикулярной продольной оси образца. Маятник копра закрепляется в исходном верхнем положении. По шкале фиксируется угол подъема маятника. Затем крепящую защелку вынимают, маятник свободно падает под собственной тяжестью, ударяет по образцу, изгибает и разрушает его, поднимаясь относительно вертикальной оси копра на угол β . Этот угол тем меньше, чем большая работа K затрачена маятником на деформацию и разрушение образца. Скорость копра v_K , м/с, в момент удара по образцу зависит от высоты подъема.

Величина работы деформации и разрушения определяется разностью потенциальных энергий маятника в начальный (после подъема) и конечный (после взлета) моменты испытания: $K=P(H-h)$, где P — вес маятника; H и h — высоты подъема и взлета маятника.

Эта формула и служит для расчета работы K по измеренным углам (P и L постоянны для данного копра). Шкала копра может быть проградуирована в единицах работы, если угол подъема маятника фиксирован. Часть энергии удара затрачивается на сотрясение копра и фундамента, преодоление сопротивления воздуха, на трение в подшипниках и в измерительном устройстве, на смятие образца на опорах и под ножом, на сообщение энергии обломкам образца и на упругую деформацию штанги маятника. На копрах, применяемых при обычных испытаниях металлов, большинство этих потерь не поддается учету, в результате получаемые значения K оказываются завышенными на несколько процентов. Особенно велики потери энергии при несовпадении оси удара и середины надреза на образце. Поэтому величины ударной вязкости, определенные на различных копрах, могут отличаться друг от друга на 10—30 %. Точность определения работы излома тем выше, чем

меньше превышение запаса работы маятника над работой деформации и разрушения образца; нужно стремиться, чтобы угол j после разрушения образца был небольшим.

Зная полную работу деформации и разрушения K , можно рассчитать основную характеристику, получаемую в результате рассматриваемых испытаний — ударную вязкость: $KC = KIF$, где F — площадь поперечного сечения образца в месте надреза до испытания. Стандартная размерность ударной вязкости Дж/м² или Дж/см².

В зависимости от вида концентратора в образце в обозначение ударной вязкости вводится третий индекс (U , V или T). Например, KCV — ударная вязкость, определенная на образце с V -образным концентратором при комнатной температуре.

Ударные испытания, как и статические, можно проводить при отрицательных и повышенных температурах. Методика этих испытаний регламентирована стандартами. По ГОСТ 9454—78 динамический изгиб при отрицательных температурах производят с использованием тех же образцов, что и при комнатной. Образец выдерживают в жидком хладагенте не менее 15 мин при температуре на 2—6°С ниже заданной, затем вынимают из ванны, устанавливают на копер и немедленно испытывают.

Аналогичная методика используется при высокотемпературных испытаниях (ГОСТ 9454—78). Предварительный нагрев образцов рекомендуется вести в муфельных печах, при необходимости в нейтральной атмосфере, перегревая образец относительно заданной температуре на 3—50 °С в зависимости от ее абсолютной величины. При этом время установки образца с момента выемки из печи до удара маятника должно быть не больше 3—5 с.

Для обозначения ударной вязкости при пониженной или повышенной температурах используется цифровой индекс, соответствующий температуре испытания. Например, KCT^{60} — ударная вязкость, определенная на образце с

T-образным концентратором при - 60 °С. В ГОСТ 9454—78 рекомендуется при обозначении ударной вязкости указывать также максимальную энергию удара маятника, Дж, глубину концентратора, мм, в испытанном образце и его ширину, мм. Например, $KCU^{+100} 150/3/7,5$ —ударная вязкость, определенная на образце с U-образным концентратором при 100 °С на копре с максимальной энергией удара маятника 150 Дж при глубине концентратора 3 мм и ширине образца 7,5 мм. Если используется копер с максимальной энергией удара маятника 300 Дж и образец шириной 10 мм с глубиной концентратора 2 мм, то эти данные в обозначение ударной вязкости не вводятся (пишется просто KCU^{+100}).

В массовых динамических испытаниях на изгиб образцов с надрезом ударная вязкость — единственная выходная характеристика испытания. Диаграмма деформации обычно не записывается, так как это сопряжено со значительными экспериментальными трудностями. Общее время испытания измеряется долями секунды, поэтому для фиксации зависимости нагрузки от деформации требуются малоинерционные чувствительные датчики и быстродействующий прибор для записи диаграмм. Обычно используют пьезокварцевые динамометры и шлейфовые осциллографы.

Ударная вязкость — это сложная, комплексная характеристика, зависящая от совокупности прочностных и пластических свойств материала.

Заключение

Изучение механических свойств металлических материалов необходимо для обеспечения требуемого качества продукции. Вопрос качества продукции стал очень актуальным в настоящее время. Предприятия-изготовители занимаются постоянным изучением требований потребителей, для удовлетворения их потребностей и их предвосхищения. Проведение испытаний, имитирующих условия эксплуатации, с помощью современного оборудования позволяет с необходимой точностью определять механические

свойства материалов. Результаты испытаний используются для дальнейшего применения в производстве, других испытаниях.

Список использованной литературы:

1. Золоторевский В. С. Механические свойства металлов. М., Metallurgy, 1983
2. Бернштейн М.Л., Займовский В.А. Механические свойства металлов. М., 1979
3. Жуковец И.И. Механические испытания металлов. М., 1986
4. ГОСТ 1497-84 Металлы. Методы испытаний на растяжение
5. ГОСТ 9651-81 Металлы. Методы испытаний на растяжение при повышенных температурах
6. ГОСТ 9454-78 Метод испытания на ударный изгиб при пониженных, комнатной и повышенных температурах
7. ГОСТ 14019-2003 Материалы металлические. Метод испытания на изгиб
8. ГОСТ 11150-84 Металлы. Методы испытания на растяжение при пониженных температурах
9. ГОСТ 8817-82 Металлы. Метод испытания на осадку
10. ГОСТ 8818- Металлы. Метод испытания на сплющивание
11. ГОСТ 6996-66 Сварные соединения. Методы определения механических свойств
12. ГОСТ 10006-80 Трубы металлические. Метод испытания на растяжение
13. ГОСТ 27208-87 Отливки из чугуна. Методы механических испытаний
14. ГОСТ 25.503-97 Расчеты и испытания на прочность. Методы механических испытаний. Метод испытания на сжатие
15. ГОСТ 5521-93 Прокат стальной для судостроения. Технические условия
16. ГОСТ 8693-80 Трубы металлические. Метод испытания на бортование
17. ГОСТ 8694-75 Трубы. Метод испытания на раздачу
18. ГОСТ 8695-75 Трубы. Метод испытания на сплющивание
19. ГОСТ 11706-78 Трубы. Метод испытания на раздачу кольца конусом