

ЛЕКЦИЯ № 17



Тема: **ИСПЫТАНИЯ НА УДАРНЫЕ НАГРУЗКИ**



В условиях эксплуатации часто возникают ударные воздействия, например при переезде транспортных средств через выбоины, при формировании железнодорожных составов, при взлете и посадке самолетов или даже при зацеплении шестерен и зубчатых колес в приводе. Попадание в цель и взрыв снарядов, высокоскоростная обработка материалов также приводят к ударным нагрузкам различной величины. В таких случаях для характеристики поведения материала необходимо провести испытания с использованием ударной нагрузки.

Поведение материала при повышенных скоростях деформации

На рис. представлены пределы различных скоростей деформации и методы испытаний. Получаемая при продольном растяжении скорость деформации материала в пределах упругого растяжения связана со скоростью роста нагрузки равенством

$$\sigma = \varepsilon E.$$

При скорости деформации $10^{-1} \dots 10^0, \text{c}^{-1}$ начинается ударная нагрузка, а выше 10^2c^{-1} – происходит распространение упругопластической волны деформации. В то же время процесс деформации постепенно приближается к адиабатическому процессу, поскольку вызываемый деформацией нагрев образца очень быстро теряет возможность компенсироваться отводом тепла в окружающее пространство.

При скоростях деформации свыше $10^4, \text{с}^{-1}$ происходит образование **ударной волны**, при этом характерное для низких скоростей деформации плоское напряженное состояние переходит в плоское деформированное состояние.

Увеличение скорости деформации вызывает повышение напряжения течения. Существенным моментом при этом является снижение вязкости, вызывающее появление макроучастков хрупкого излома. В металлах эти участки излома можно определить по кристаллическим блестящим поверхностям разрушения, так как плоскости спайности кристаллов интенсивно отражают свет.

Плоско-напряженное состояние			Плоско-деформированное состояние
Изотермический процесс деформации	Адиабатический процесс деформации		
Длительные испытания	Методы испытаний		Опыты со взрывом на плите
	Испытания действием статической нагрузки	Испытания с применением ударной нагрузки (опыты с ударным инструментом, со взрывом)	

Ползучесть	Характеристика ползучести			Распространение взрывной волны
	Квазистатическая деформация	Переходная зона	Распространение упруго-статической волны	
$10^{-8} \ 10^{-6} \ 10^{-4} \ 10^{-2} \ 10^0 \ 10^2 \ 10^4 \ 10^6$				
Скорость деформации, c^{-1}				
$10^6 \ 10^4 \ 10^2 \ 10^0 \ 10^{-2} \ 10^{-4} \ 10^{-6} \ 10^{-8}$				
Время на выполнение 1 % растяжения				

В отличие от них сильно деформированные участки вязкого излома имеют матовый, волокнистый вид. *Появление хрупкого разрушения является причиной многих аварий металлических конструкций судов, мостов, сосудов высокого давления и трубопроводов.*

Причиной появления хрупкого излома наряду с повышенной скоростью деформации могут быть также низкие температуры и многоосное напряженное состояние (учитывая и остаточные напряжения). Образование хрупкого излома в наибольшей степени стимулирует концентрация напряжений вблизи надрезов и трещин.

При оценке склонности элемента конструкции к хрупкому разрушению следует не только учитывать влияние внешних параметров таких, как скорость деформации, температура и напряженное состояние, но также нужно помнить, что вязкость материала сильно зависит от его структуры и свойств.

Поскольку процесс сварки связан с разнообразными тепловыми и механическими воздействиями, нужно особенно тщательно контролировать свойства сварных соединений в условиях ударного нагружения.

Испытания на ударное растяжение и сжатие

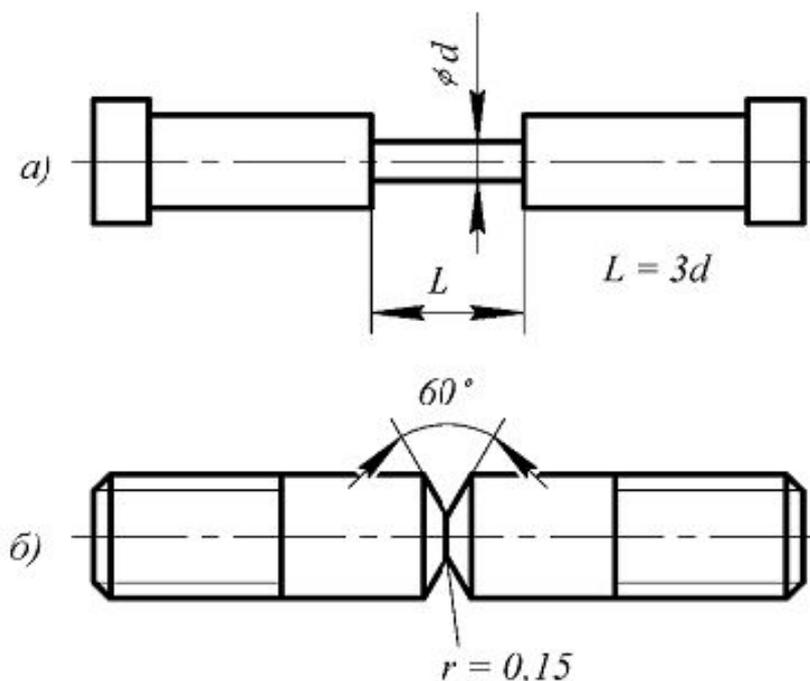
Испытание на ударное растяжение используют для определения механических свойств (прочности и пластичности) материала при его растяжении с высокой скоростью. Для этого разработаны использующие сервогидравлический принцип быстродействующие разрывные машины, позволяющие регулировать скорость движения поршня до 10 м/с. Для более высоких скоростей деформации наряду с машинами для испытания на растяжение с пневматическим приводом применяют маятниковые и ротационные копры. Кроме того, используя испытания при нагружении взрывом, можно с помощью сжигания смеси с порохом получить высокую скорость деформации; при этом распределение нагрузки во времени варьируется в широких пределах дозировкой заряда.

Характеристикой вязкости является удельная работа удара

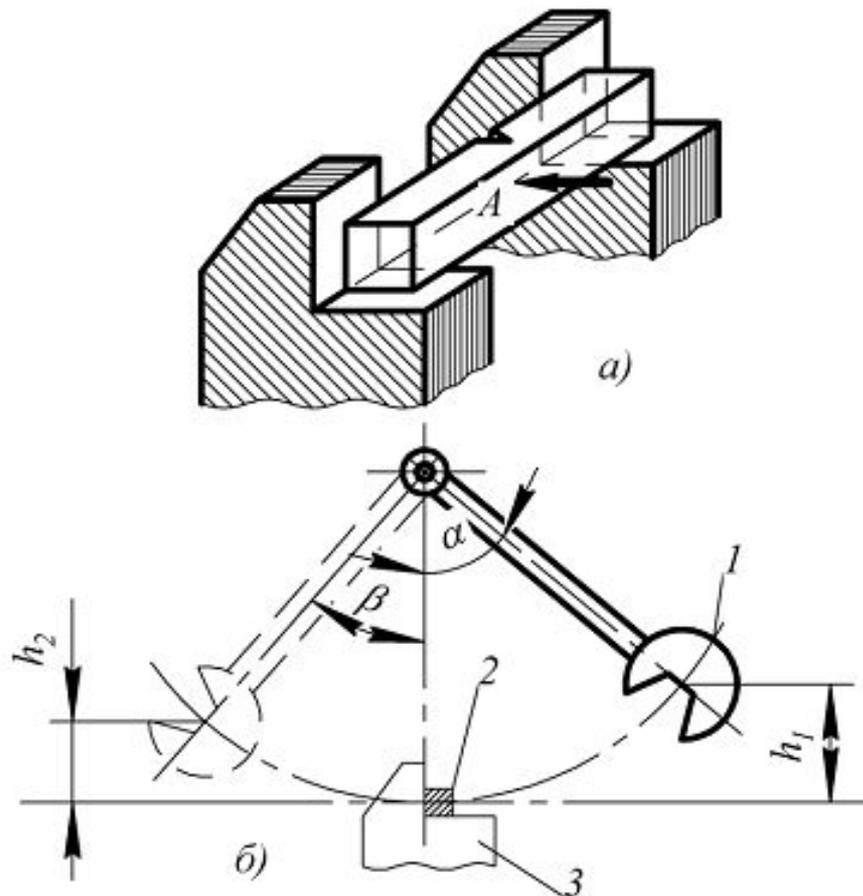
$$W_s = W / V, \text{ Дж/мм}^3,$$

где W – работа, затрачиваемая на удар; V – объем среднего участка образца

С помощью омического тензометрического датчика и при использовании электронной аппаратуры можно также записать диаграммы усилие – время или усилие – удлинение. Определение относительного удлинения при разрыве на образцах, испытываемых на ударное растяжение, часто затруднено из-за образования нескольких шеек на образце. Поэтому испытания обычно проводят на образцах с надрезом, имеющим угол (у дна надреза) 60°



При проведении испытаний на ударный изгиб, надрезанный с одной стороны образец, разрушается или прогибается, насколько позволяют возможности испытательного устройства, посредством удара маятникового копра или какого-либо другого ударного приспособления. При этом образец может либо располагаться **на двух опорах (по Шарпи)**, либо быть **зажатым с одной стороны (по Изоду)**. Положение образца и схема нанесения удара показаны на рис.



*Испытание на ударный изгиб
 образца с надрезом: а – расположение об-
 разца; б – схема нанесения удара; А – на-
 правление удара;
 1 – маятниковый копер; 2 – образец;
 3 – опора*

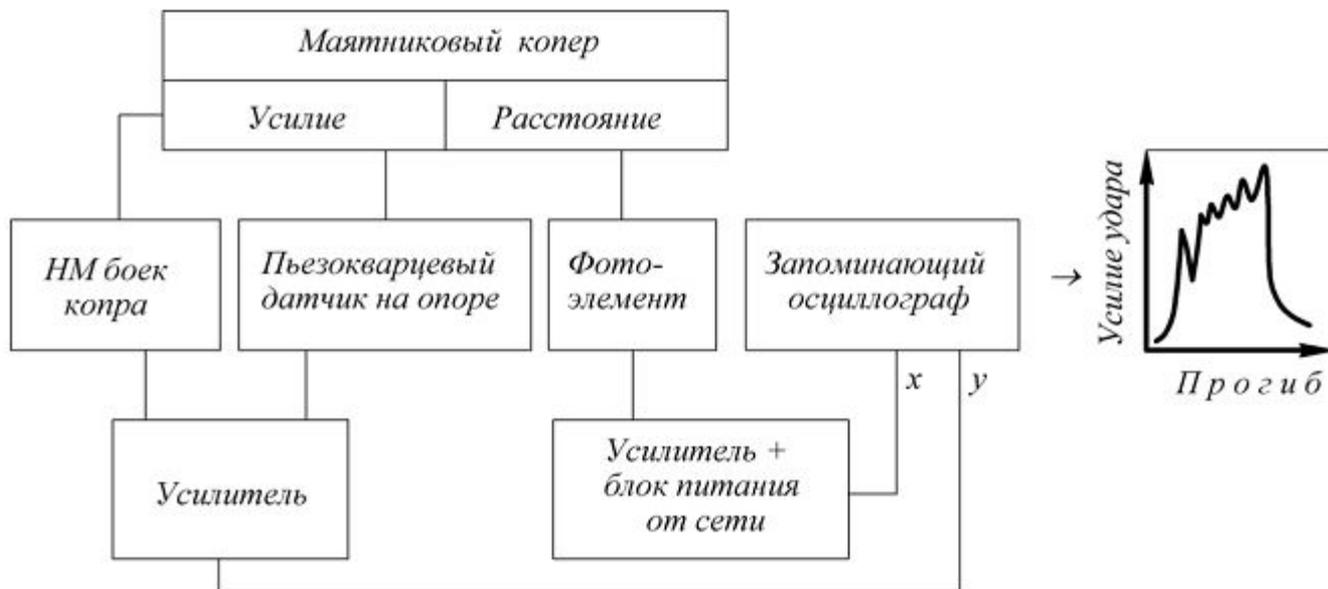
Выбор формы образца или формы надреза определяется, прежде всего, вязкостью испытываемого материала.

Для проведения испытаний образец с надрезом свободно помещают на опоры, причем смещение плоскости симметрии надреза и плоскости симметрии опор не должно превышать 0,5 мм. С таким же допустимым отклонением должен осуществляться удар маятничкового груза, приходящийся по стороне образца без надреза.

Для определения склонности материала к хрупкому разрушению особое значение имеет проведение испытаний на ударный изгиб при различных температурах. Измеренные параметры представляют в виде диаграммы ударная вязкость – температура ($\alpha_k - T$).

Испытания на ударную вязкость надрезанных образцов с регистрацией диаграммы.

Работа удара получается при различных значениях напряжения и прогиба. По этой причине невозможно использовать рассчитываемую по работе удара ударную вязкость для определения размеров конструктивных элементов, подвергающихся ударным нагрузкам.



Испытания на образцах, имитирующих конструкции

Даже при регистрации диаграммы усилие удара – прогиб метод испытаний на ударный изгиб еще не дает точную характеристику склонности конструктивных элементов к хрупкому разрушению при эксплуатационных нагрузках, и поэтому нельзя с его помощью точно определить пределы допустимых нагрузок. Это объясняется тем, что размеры конструктивного элемента сильно влияют на напряженное состояние и скорость деформации, а процесс развития трещины в больших конструкциях не может быть достаточно полно воспроизведен при испытании образца с надрезом.

Для того чтобы при определении склонности материала к хрупкому разрушению обеспечить максимально возможное приближение к характеру нагрузок в условиях эксплуатации, необходимы **образцы**, соответствующие элементам конструкций. В зависимости от размеров образцов оказалась целесообразной следующая классификация:

- 1) образцы с острым надрезом или с предварительно нанесенной трещиной, которые по ширине соответствуют толщине листа;
- 2) образцы, ширина которых значительно больше толщины листа;
- 3) крупные образцы с размерами, соответствующими размерам конструктивных элементов (пластины);
- 4) испытания сборных конструктивных элементов или конструкций.