

Проект «Инженерные кадры Зауралья»

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Курганский государственный университет»

Кафедра автоматизации производственных процессов

**Исследование механических свойств конструкционных материалов
в условиях низких и высоких температур**

Методические указания к выполнению лабораторной работы
по курсу «Технические измерения и приборы»
для студентов очной и заочной форм обучения
направления 220700. 62
«Автоматизация технологических процессов и производств»

Курган 2013

Кафедра автоматизации производственных процессов

Дисциплина: «Технические измерения и приборы»

Составили: доцент, канд. техн. наук В.П. Кузнецов
доцент, канд. техн. наук О.В. Дмитриева
В.А. Филонов

Утверждены на заседании кафедры «14» ноября 2013 г.

Рекомендованы методическим советом университета в рамках проекта
«Инженерные кадры Зауралья» «22» ноября 2013 г.

Содержание

Введение.....	4
1. Влияние температуры на механические свойства конструкционных материалов.....	5
2. Статические испытания образцов.....	10
3. Динамические испытания образцов	13
4. Порядок выполнения работы.....	15
5. Оформление отчета.....	16
6. Контрольные вопросы.....	16
Список использованной литературы.....	16

Введение

Свойства материалов машин и конструкций, работающих в реальных условиях, значительно отличаются от тех, которые определяют испытаниями стандартных образцов в стандартных условиях. Большое влияние на прочность и эксплуатационные характеристики машин и конструкций оказывают условия окружающей среды, в которых они работают.

Работоспособность конструкционных материалов при различных видах нагружения характеризуется механическими свойствами. *Механические характеристики* устанавливают пределы безопасной эксплуатации элементов конструкций при статическом и динамическом нагружениях. К числу механических характеристик относятся: предельные нагружения, твердость, ударная вязкость.

Значение механических характеристик получают экспериментально путем доведения образцов из различных материалов до разрушения или чрезмерной деформации. Так как результаты испытаний зависят от формы образца, скорости его деформирования, температуры и других факторов, то испытания ведут в условиях, регламентированных ГОСТ 1497-73. Испытания проводят на специальных машинах, разнообразных по конструкции и мощности.

При повышенных температурах (конструкции доменных печей, ракетных двигателей) или при пониженных температурах (элементы трубопроводов, работающие в условиях Крайнего Севера, элементы холодильных установок) механические свойства материалов изменяются и зависят от условий эксплуатации.

Таким образом, при проектировании и создании машин и конструкций, работающих при повышенных или пониженных температурах, становится особенно актуальным контроль механических свойств материалов при соответствующих температурах. Это позволяет определить влияние температуры, характерной для реальных условий эксплуатации создаваемого изделия.

Цель работы: закрепить теоретические знания, полученные в ходе изучения курса «Технические измерения и приборы» и получить практические навыки работы с измерительными приборами для измерения механических свойств конструкционных материалов в условиях низких и высоких температур.

Оборудование: разрывная машина Р-5; маятниковый копер МК-30; система температурных испытаний СТИ ТС-2/1200; образцы для испытаний.

1. Влияние температуры на механические свойства конструкционных материалов

Диаграмма $\sigma = f(\varepsilon)$ характеризует свойства испытуемого материала и называется *условной диаграммой растяжения*, так как напряжения и относительные удлинения вычислены по отношению к первоначальной площади сечения A_0 и первоначальной длине l_0 . Диаграмма растяжения образца из малоуглеродистой стали Ст3 (рис.1) характеризуется четырьмя участками.

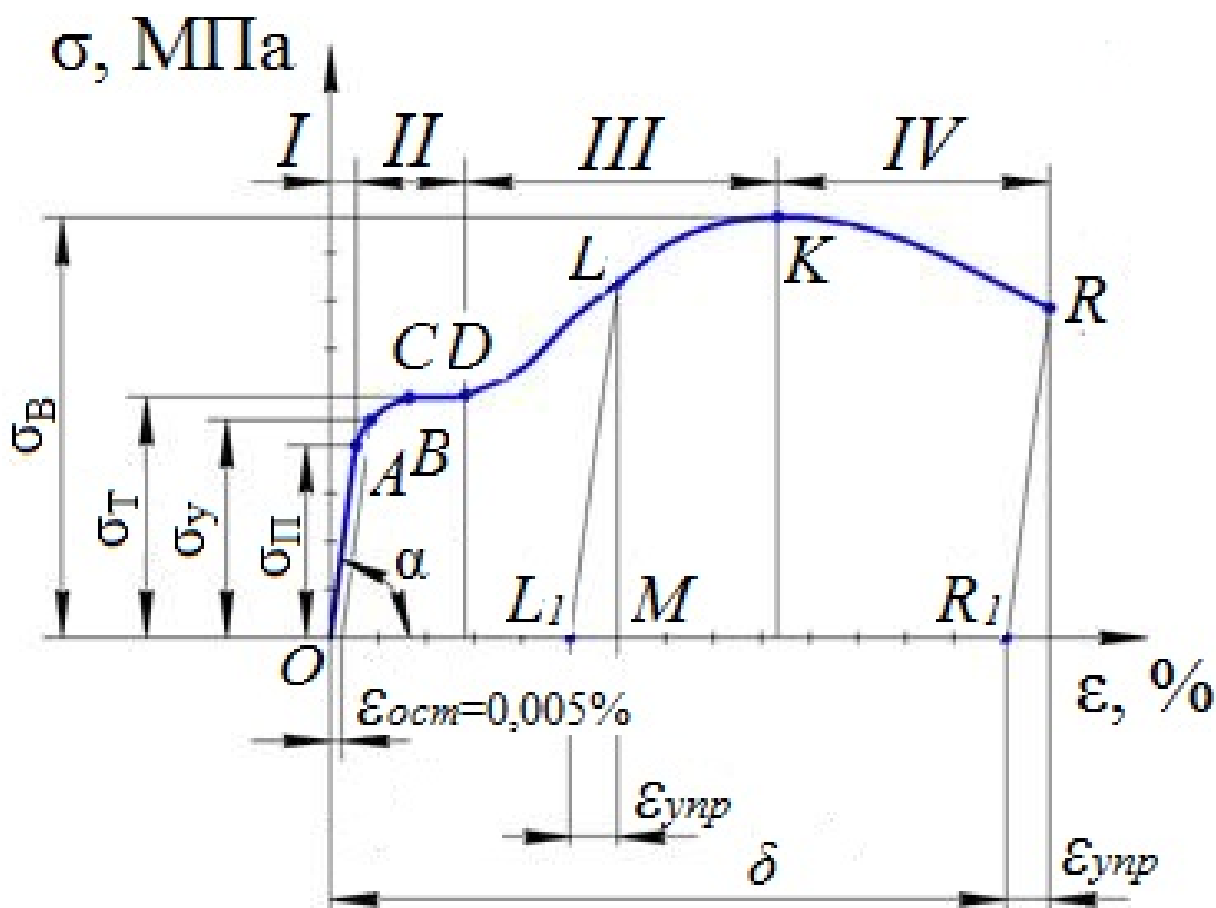


Рис.1. Условная диаграмма растяжения

Участок I соответствует упругим деформациям материала, подчиняющимся закону Гука: *величина относительной деформации прямо пропорциональна напряжению*. Отношение растягивающего усилия в точке A к первоначальной площади поперечного сечения называется *пределом пропорциональности*: $\sigma_n = F_A / A_0$.

Участок II начинается после точки *A*, когда диаграмма становится криволинейной. Однако до точки *B* деформации остаются упругими (восстанавливаются после снятия нагрузки). Отношение растягивающего усилия в точке *B* к площади A_0 называется *пределом упругости*: $\sigma_y = F_B / A_0$ - это такое напряжение, при котором величина остаточной деформации ϵ не превышает 0,005 %. При дальнейшем увеличении нагрузки появляются неупругие (остаточные) деформации. В точке *C* начинается процесс деформирования образца без увеличения внешней нагрузки. Это явление называется *текучестью материала*, а участок *CD* - *площадкой текучести*. Максимальное напряжение, при котором происходит рост деформации без увеличения силы, называется *пределом текучести*: $\sigma_T = F_c / A_0$.

Для ряда материалов (медь, алюминий), не имеющих на диаграмме выраженной площадки текучести, вводят понятие условного предела текучести $\sigma_{0,2}$, под которым подразумевают напряжение, вызывающее остаточную деформацию, равную 0,2 %.

Участок III характеризуется увеличением нагрузки, при которой происходит дальнейшая деформация образца. Если образец нагрузить до состояния, соответствующего точке *L* диаграммы, а затем разгрузить, то процесс разгрузки на диаграмме будет обозначен прямой линией LL_1 , параллельной участку *OA*. При разгрузке деформация полностью не исчезает: она уменьшается на величину L_1M упругой части удлинения. Отрезок OL_1 представляет собой остаточную деформацию. Если образцу дать «отдохнуть» и подвергнуть повторному нагружению, то процесс пойдет по линии L_1LKR . При этом предел пропорциональности значительно увеличится (точка *L* находится выше точки *A*), но при этом уменьшится пластичность. Это явление получило название *наклепа*.

Отношение наибольшей нагрузки к первоначальной площади поперечного сечения стержня называется *пределом временного сопротивления*: $\sigma_B = F_K / A_0$. Пределу прочности соответствует максимальное напряжение в образце до его разрушения.

Участок IV начинается в точке *K* и заканчивается разрушением образца в точке *R*. Этот участок носит название *зоны разрушения*. Деформация образца на этом участке характерна образованием «шейки» и образовавшимся удлинением за счет его утонения (рис.2, а). Площадь сечения образца в шейке быстро уменьшается и, как следствие, падает усилие и условное напряжение. Разрыв образца происходит по наименьшему сечению шейки.

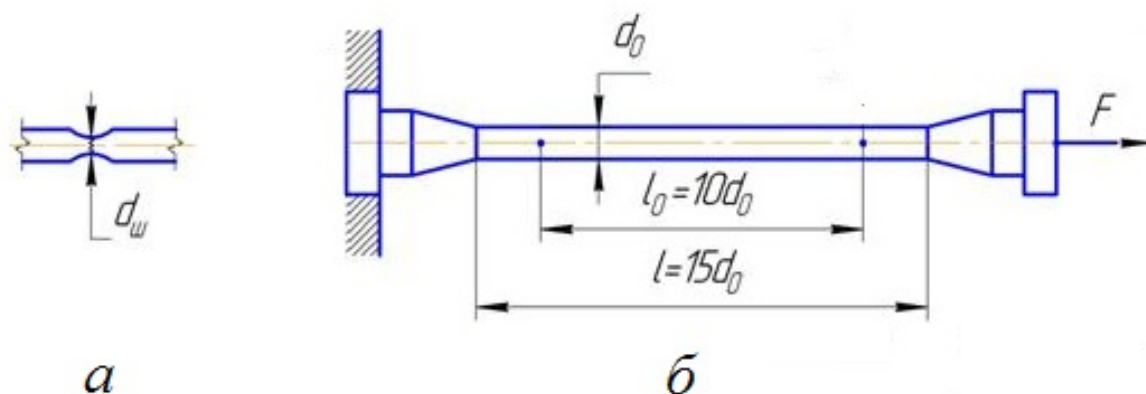


Рис. 2. Испытание образцов на растяжение

При испытании цилиндрических образцов в качестве основных применяют образцы диаметром $d_0=10$ мм. Длина центрального цилиндра (рис. 2, б) превышает его диаметр примерно в 15 раз. На цилиндре выделяют участок длиной: $l_0 = 10d_0$. При растяжении образца на машинах регистрируют нагрузку F на образец и его удлинение Δl .

Степень пластичности материала может быть охарактеризована величинами остаточного относительного удлинения δ образца, доведенного при растяжении до разрыва, и остаточного относительного сужения ψ шейки:

$$\delta = [(l_{разр} - l_0) / l_0]$$

$$\psi = [(A_0 - A_{ш}) / A_0]$$

В случае испытания «коротких» (пятикратных) образцов относительное удлинение обозначают δ_5 , в случае «длинных» (десятикратных) - δ_{10} .

Как правило, механические характеристики материалов существенно изменяются с изменением температуры. В большинстве случаев при нагреве характеристики прочности уменьшаются с повышением характеристик пластичности, а при охлаждении наоборот.

В паровых котлах, двигателях внутреннего сгорания, паровых и газовых турбинах, а также во многих химических аппаратах металл работает в условиях высоких температур. Особенно высокие температуры, свыше 1000°C , достигаются в авиационных реактивных двигателях. На рисунке 3 приведена серия диаграмм растяжения одной и той же углеродистой стали при различных температурах, от 20° до 400°C . Интересно отметить, что, начиная с температуры 400°C , площадка текучести исчезает и диаграмма становится подобной диаграмме растяжения цветных металлов - меди или алюминия.

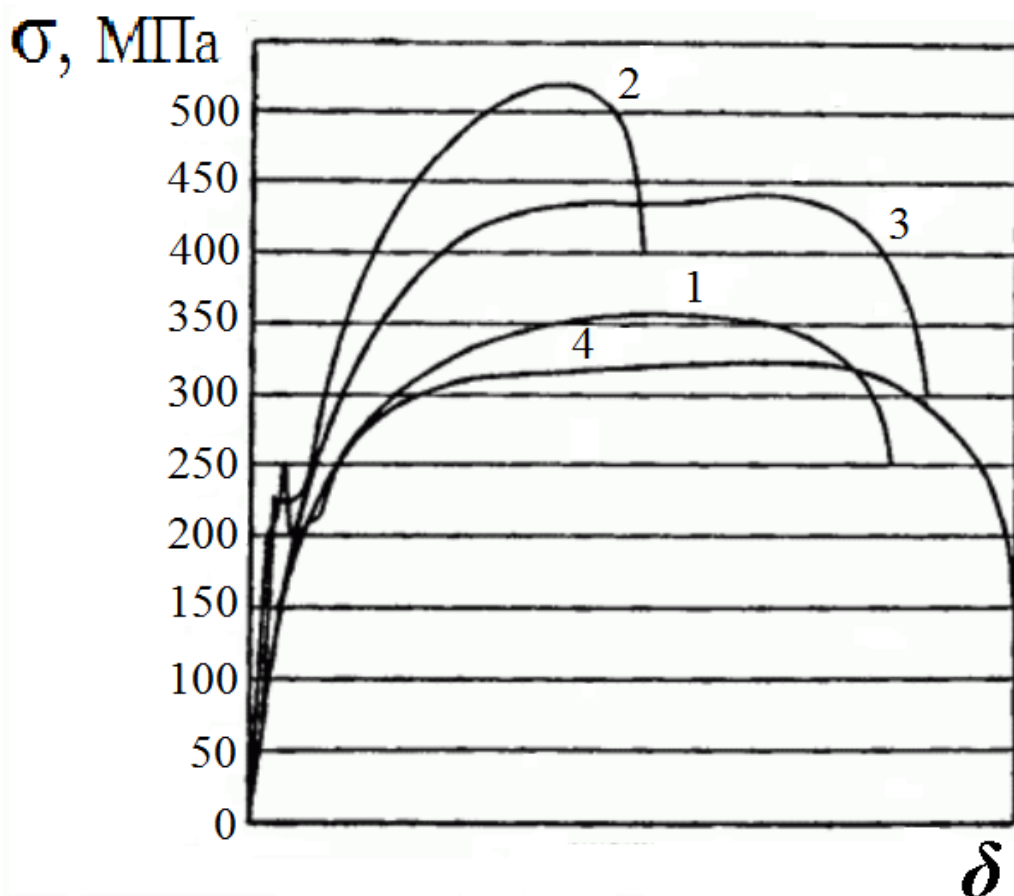


Рис. 3. Зависимости напряжения в стали образца от его относительного удлинения δ при растяжении: 1 - 20 °C; 2 - 200 °C; 3 - 300 °C; 4 - 400 °C

Характерной особенностью углеродистой стали при нагреве является то, что при температурах 200-300° ее прочность увеличивается, а пластичность уменьшается. Это явление называется синеломкостью, потому что в указанном интервале температур на поверхности нагретого стального изделия появляется синий цвет побежалости. У других металлов и легированных сталей этого не наблюдается.

На рисунке 4 представлены зависимости предела текучести σ_T , предела прочности σ_B и удлинения при разрыве δ от температуры для углеродистой стали (сплошные линии) и хромоникелевой стали (пунктир) [1].

Основную опасность при низкотемпературном деформировании представляет хрупкое разрушение без предварительной пластической деформации. Возможность хрупкого разрушения определяется составом и структурой металла, особенностями нагружения и местной концентрацией напряжений, наличием трещин, раковин, надрезов и царапин. Хрупкое разрушение происходит внезапно при напряжениях, которые могут быть меньше предела текучести; поэтому помимо удовлетворительных прочностных, свойств материалы должны иметь удовлетворительную пластичность.

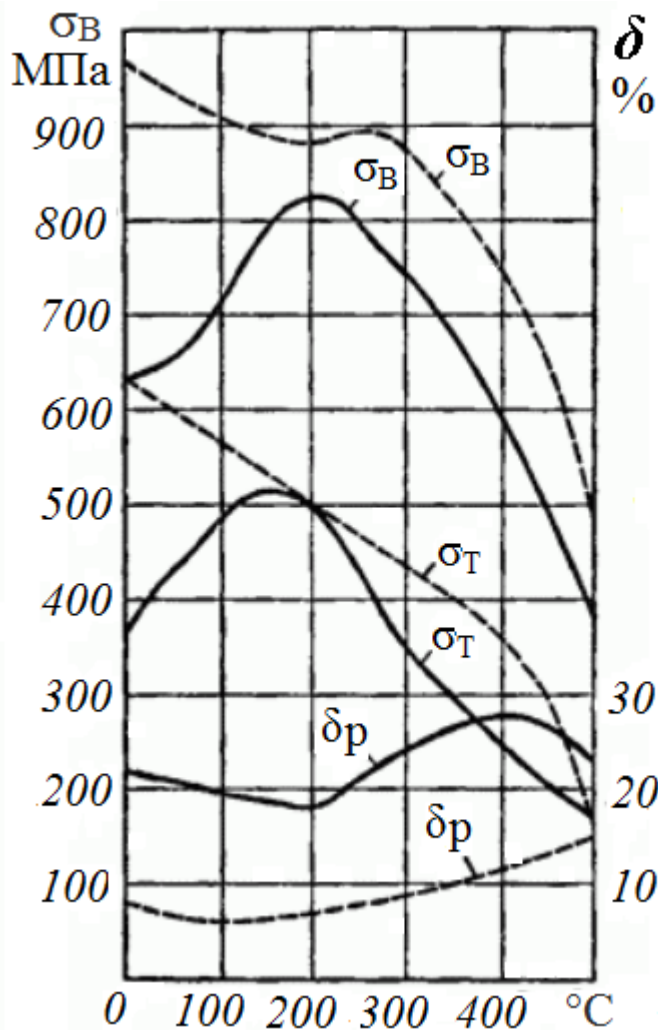


Рис. 4. Зависимости предела текучести, предела прочности и удлинения при разрыве для углеродистой стали (сплошные линии) и хромоникелевой стали (пунктир) от температуры

Возможность использования материала в условиях глубокого холода определяется его способностью противостоять хрупкому разрушению. Повышение скорости испытаний, увеличение концентрации напряжений у надрезов, трещин, резкие переходы в размерах, увеличение размеров деталей смещают критический интервал хрупкости для материала детали или образца в область более высоких температур.

Ударной вязкостью называют величину, характеризующую способность материала сопротивляться действию ударных нагрузок. Мету сопротивления удару определяют на специальных испытательных копрах, на которых при помощи маятника разрушают образцы.

Ударную вязкость a определяют как отношение работы, затраченной на разрушение образца, к площади его поперечного сечения:

$$a = \frac{K}{S_0}$$

где K - работа, затраченная на деформацию и разрушение образца, S_0 - площадь его поперечного сечения в месте надреза.

Размерность ударной вязкости - МДж/м². В зависимости от формы концентратора напряжений (надреза) ударную вязкость обозначают: КСУ - если концентратором является U-образный надрез с радиусом 1 мм; КСV - если концентратором является V-образный надрез с радиусом 0,25 мм; КСТ - если концентратором является усталостная трещина, нанесённая на специальном вибраторе.

2. Статические испытания образцов

При статических испытаниях определяют свойства характеризующие: упругость, сопротивление начальным пластическим деформациям, сопротивление значительным пластическим деформациям, пластичность.

Для полного выявления механических свойств материала испытания проводят при различных способах нагружения (растяжение, кручение, сжатие, изгиб и т.п.). Испытание на растяжение производится на образцах форма и размер которых соответствуют захватам машины.

Разрывная машина Р-5 служит для определения механических свойств материалов, а также для испытаний деталей, сборочных единиц и изделий путём повреждения или разрушения. Разрывная машина имеет нагружающее устройство и измерительные приборы. По виду нагружающего устройства разрывные машины разделяются машины с гидравлическим и механическим (рычажным, одно- и многошпindelным) нагружающим устройством. Для испытания упругих материалов (металлы, древесина, резина, полимеры, ткани и др.) применяют разрывные машины с одной или несколькими постоянными скоростями деформирования, а для испытания хрупких материалов - разрывная машина с постоянной скоростью нагружения. По направлению растягивающего усилия разрывные машины делятся на вертикальные и горизонтальные. Нагружающее устройство (механическое или гидравлическое) обеспечивает повторные циклические нагрузки. Измерительные приборы регистрируют усилия и деформации на различных стадиях испытаний. Приборы для измерения усилия могут быть механическими (рычажными, рычажно-маятниковыми, пружинными) и гидравлическими. Использование электронных схем позволяет автоматически воспроизводить заданный режим испытаний разрывной машины для испытания материалов при температуре, отличной от

нормальной, снабжены печами и криокамерами (для охлаждения образца). Разрывные машины, на которых можно проводить испытания не только на растяжение, но и на сжатие, изгиб, ползучесть, длительную прочность и релаксацию, называются универсальными.

Кинематическая схема и общий вид универсальной разрывной машины Р-5 приведены на рисунке 5. Разрывная машина Р-5 предназначена для испытания образцов из металла на растяжение по ГОСТ 1497-73, также на сжатие и изгиб по ГОСТ7855-74.

Технические характеристики:

- Тип силоизмерителя - маятниковый.
- Наибольшая предельная нагрузка 50 кН.
- Диапазоны измерения нагрузки:
 - диапазон I от 2 до 10 кН
 - диапазон II от 5 до 25 кН
 - диапазон III от 10 до 50 кН
- Цена деления силоизмерителя:
 - диапазон I 0,02 кН
 - диапазон II 0,05 кН
 - диапазон III 0,1 кН
- Пределы допускаемого значения относительной погрешности силоизмерителя при прямом ходе (нагружении) $\pm 1\%$ от измеряемой нагрузки диапазона измерения.
- Пределы допускаемого значения относительной погрешности диаграммного аппарата при записи нагрузки $\pm 2\%$.
- Пределы допускаемого значения погрешности диаграммного аппарата при записи перемещения активного захвата в соответствующем масштабе:
 - при длине записи до 15мм $\pm 0,5$ мм;
 - при длине записи свыше 15 мм $\pm 3\%$.

Такие разрывные машины имеют диаграммный аппарат, записывающий процесс в координатах «нагрузка-деформация», «нагрузка-время», «деформация-время». Запись деформации производится от подвижного захвата или от тензометра, установленного на образце. Предельное усилие нагружающих устройств разрывной машины для металлов - $5 \cdot 10^5$ Н ($5 \cdot 10^4$ кгс). Погрешности показаний приборов для измерения усилия $\pm 1\%$, а погрешность записи на диаграммном аппарате $\pm 2\%$ [2].

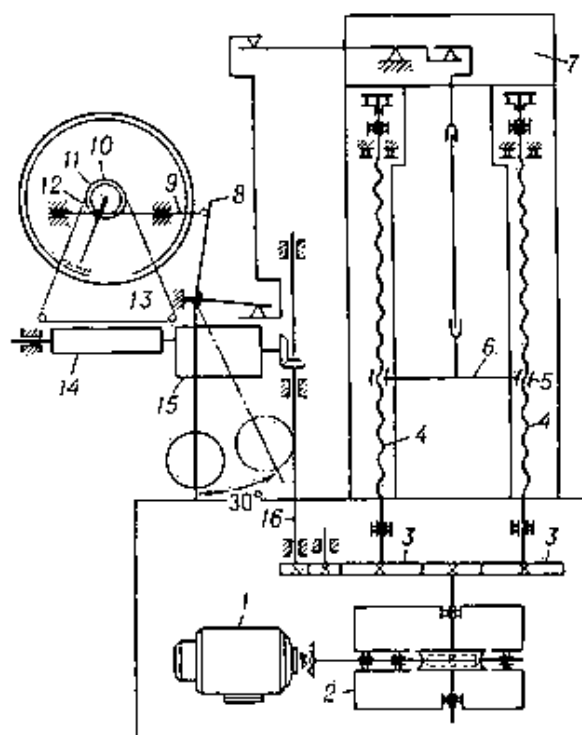


Рис.5. Общий вид (а) и кинематическая схема разрывной машины Р-5 (б): 1 - электродвигатель; 2 - силовой редуктор; 3 - цилиндрические шестерни; 4 - вращающиеся винты; 5 - гайки подвижной траверсы; 6 - подвижная траверса; 7 - неподвижная траверса; 8 - поводок; 9 - рейка; 10 - шестерня реечной передачи; 11 - шкив; 12 - тросик; 13 - перо; 14 - барабан лентопротяжного механизма; 15 - редуктор масштаба записи; 16 - валик.

Для обеспечения проведения испытаний при заданной температуре на разрывную машину дополнительно устанавливается система температурных испытаний «СТИ ТС 2/1200» [3]. Система позволяет равномерно нагревать образец до заданной температуры испытания и поддерживать эту температуру на протяжении всего испытания. В состав системы входят: разъемная электропечь, узел установки печи на испытательную машину, комплект захватов для испытания образцов, программно-технический комплекс.

Технические характеристики электропечи:

- диапазон испытательных температур от +300 °С до +1200 °С;
- скорость нагрева камеры, не более (15...20) °С/мин;
- дискретность индикации температуры 0,1 °С;
- внутренний диаметр электропечи, не менее 100 мм;
- высота рабочего пространства, не менее 300 мм.

3. Динамические испытания образцов

Прочность материала, определенная при плавном нагружении, не может дать представления о работоспособности материала при динамических нагрузках. Детали машин и элементы стальных конструкций часто воспринимают ударные нагрузки. Одним из видов динамических испытаний материалов являются испытания на удар, назначением которых является определение механических свойств металлов и сплавов при повышенной скорости деформирования. Металл может быть очень прочным при статических нагрузках и в то же время легко раскалываться от ударов.

Динамический процесс деформации или разрушения может возникнуть как следствие резкого возрастания внешней нагрузки, так и вследствие резкого понижения сопротивления тела, например, при хрупком разрушении. При динамических испытаниях скорость деформирования значительно больше, чем при обычных статических механических испытаниях. Основным видом динамических испытаний является ударное испытание надрезанных образцов (рис.4) на маятниковых копрах, которое проводится в соответствии с ГОСТом 9454-78 Метод испытания на ударный изгиб при пониженных, комнатной и повышенной температурах.

Испытания на ударную вязкость проводят для определения способности основного и наплавленного металла или сварного соединения воспринимать динамические нагрузки. Для испытания на ударную вязкость применяют образец квадратного сечения, который разрушают на маятниковом копре (рис.5) [4]. Образец вырезают поперек направления прокатки (из трубы - по хорде). Его устанавливают на специальных подставках. Перед испытанием маятник 1 поднимают вверх на угол α и закрепляют. Затем маятник освобождают, он падает, ударяет по стороне образца 2, противоположной надрезу, как раз напротив надреза. Начальная скорость удара 3...6 м/с. Образец разрушается, а маятник проходит дальше, отклоняясь на угол от вертикальной оси.

Работа, необходимая для разрушения, фиксируется положением стрелки 3 на шкале 4. Чтобы исключить влияние возможных колебаний площади поперечного сечения образца в месте разрушения на критерий динамической прочности, работу разрушения относят к площади поперечного сечения образца в узком месте напротив надреза (рис.6). Так получают значения ударной вязкости.

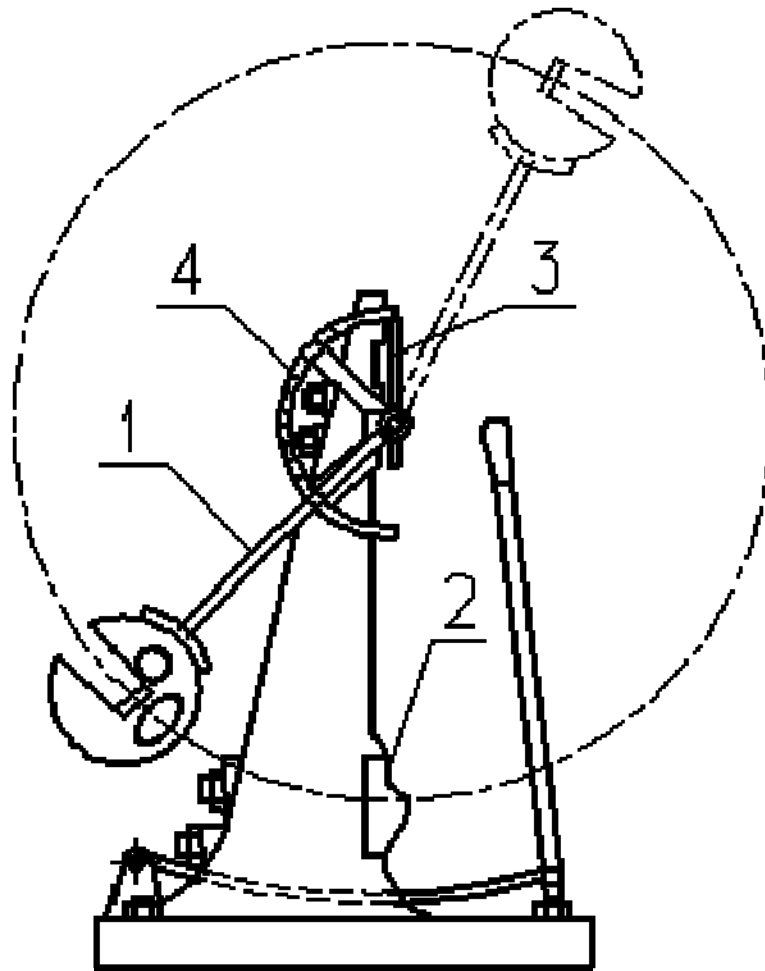


Рис. 5. Маятниковый копёр для испытания материалов на ударную вязкость:

1 - маятник; 2 - образец; 3 - стрелка; 4 - шкала.

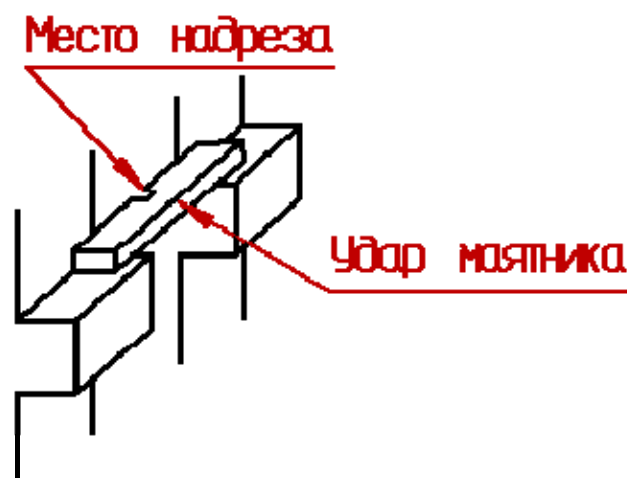


Рис.6. Положение образца для испытания.

4. Порядок выполнения работы

До проведения работ необходимо изучить техническую документацию на испытательное оборудование и руководствоваться ею во все время проведения испытаний.

Испытания на разрыв при повышенных температурах проводят на разрывной машине Р-5, дополненной системой температурных испытаний СТИ ТС2/1200.

Порядок работы на машине Р-5 и системе температурных испытаний СТИ ТС2/1200

1. Установить на маятник груз, соответственно выбранной нагрузки (грузу будет соответствовать определенная шкала отсчета устройства).

2. Вставить в захваты губки, соответствующие выбранному виду образцов.

3. Установить рабочую стрелку указателя нагрузок на нуль, перемещая циферблат вправо или влево ручкой.

4. Выбрав масштаб записи деформации, установить его поворотом ручки так, чтобы цифры находились против стрелки на панели.

5. Установить образец в захваты.

6. Регулятор скорости установить поворотом против хода часовой стрелки в крайнее положение.

7. Включить нагрев печи (стр.15-16, [3]).

8. Дождаться перехода к режиму поддержания температуры.

9. Запустить процесс испытания.

10. После разрушения образца, снять показания и удалить образец из электропечи (стр.19-20, [3]).

11. Оформить результаты

Порядок работы на маятниковом копре МК-30:

1. Поворотом пакетного выключателя включите питание.

2. Нажатием кнопки « вниз » поднимите маятник.

3. Откиньте вправо дверку переднего ограждения и установите образец на опоры копра (надраз образца должен быть обращен в сторону направления удара). Перед проведением испытания охладить образец в криокамере до нужной температуры. Проверьте его центрацию с помощью рычага.

4. Верните дверку переднего ограждения в прежнее положение.

5. Вручную совместите указатель контрольной и рабочей стрелок шкалы работ.

6. Нажатием кнопки « удар » опустите маятник по указателю контрольной стрелки, запишите величину работы, затраченной на разрушение образца в кгс·м.

7. Колебания маятника остановите, нажав на педаль тормоза.
8. Поворотом пакетного выключателя отключите копер от сети.
9. Результаты измерений занесите в таблицу

	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	ψ , %	KCU, МДж/м ²
Образец 1					
Образец 2					

5. Оформление отчета

Отчет должен содержать:

1. Данные испытаний
2. Выводы по работе (сравнение полученных значений с табличными).

6. Контрольные вопросы

1. Какие основные характеристики служат для количественной оценки механических свойств материалов?
2. Какими характеристиками количественно оцениваются прочность, пластичность, разрушение?
3. Что называется ударной вязкостью?
4. В каких случаях ударная вязкость обозначается *KCU*, *KCV*?

Список использованной литературы

1. Работнов Ю. Н. Сопротивление материалов. - М.: Физматгиз, 1962. - 456 с.
2. Машина разрывная модели Р-5. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. Гб2.773.035 ТО.
3. Система температурных испытаний «СТИ ТС 2/1200». Руководство по эксплуатации СТИ ТС 2.000.000РЭ. - 2012.
4. Копер маятниковый МК-30. Паспорт и руководство по эксплуатации.
5. ГОСТ 9454-78 Метод испытания на ударный изгиб при пониженных, комнатной и повышенной температурах.

Кузнецов Виктор Павлович

Дмитриева Ольга Венедиктовна

Филонов Виктор Александрович

**Исследование механических свойств конструкционных материалов в
условиях низких и высоких температур**

Методические указания к выполнению лабораторной работы
по курсу «Технические измерения и приборы»
для студентов очной и заочной форм обучения
направления 220700. 62 «Автоматизация технологических процессов и
производств»

Авторская редакция

Подписано к печати 06.03.2014	Формат 60x84 1/16	Бумага тип. № 1
Печать цифровая	Усл. печ. л. 1,25	Уч.-изд. л. 1,25
Заказ 75	Тираж 50	Не для продажи

Редакционно-издательский центр КГУ.
640669, г. Курган, ул. Гоголя, 25.
Курганский государственный университет.