

Лабораторная работа №1

Механические свойства и методы испытания конструкционных материалов

1. Цель работы

Изучить оборудование и методы испытаний на ударный изгиб.

Отработать методику выполнения испытаний для определения ударной вязкости на образцах малоактивируемой феррито-мартенситной стали ЭК-181 с концентратором вида V.

Ознакомиться с методикой определения температурного интервала хладноломкости.

2. Теоретическое введение

Основные статические методы определения механических характеристик такие как, растяжение, сжатие, изгиб позволяют прогнозировать поведение конструкционного материала применительно к реальным нагрузкам и деформациям. Переход от статических нагрузок к ударным, т. е. значительное повышение скорости нагружения материала, вызывает существенное изменение прочностных и пластических характеристик материала.

Однако из многочисленных методов ударных испытаний широкое практическое применение нашел почти исключительно ударный изгиб надрезанного образца (методы Шарпи и Изода) с определением удельной работы разрушения материала (ударной вязкости) KC . Ударная вязкость это отношение работы, затраченной на деформацию и разрушение образца при ударном изгибе (K) к площади поперечного сечения образца в месте надреза (S_0).

$$KC = K/S_0, \quad (1)$$

Таким образом размерность ударной вязкости Дж/м² (кгс·м/см²). Ударная вязкость – сложная механическая характеристика. Величина ее зависит и от пластичности и от прочности испытываемого материала. Чем выше пластичность и чем больше напряжения на всем протяжении испытаний, тем большая работа, которую необходимо затратить на пластическую деформацию и разрушение в процессе испытания, то есть тем больше ударная вязкость. Поэтому испытания на ударную вязкость обычно более чувствительны к изменению факторов, влияющих на прочность и пластичность (химический состав, дисперсность структуры, форма зерен и т.д.), чем статические испытания, при которых отдельно оцениваются характеристики прочности и пластичности.

В целом, эта характеристика, с точки зрения энергетического подхода к испытаниям, включает общую работу разрушения, затраченную на зарождение и распространение трещины, на формирование пластической зоны в вершине трещины и на общую пластическую деформацию всего образца в зоне разрушения в вязком состоянии. Из температурных зависимостей ударной вязкости, определяют температуру вязко-хрупкого перехода.

В основу метода Шарпи положен процесс разрушения испытываемого призматического образца с концентратором напряжений (надрезом), свободно лежащего на двух опорах, приложенной посередине нагрузкой падающего маятника (рис. 1). При испытаниях надрез располагают на растягиваемой стороне.

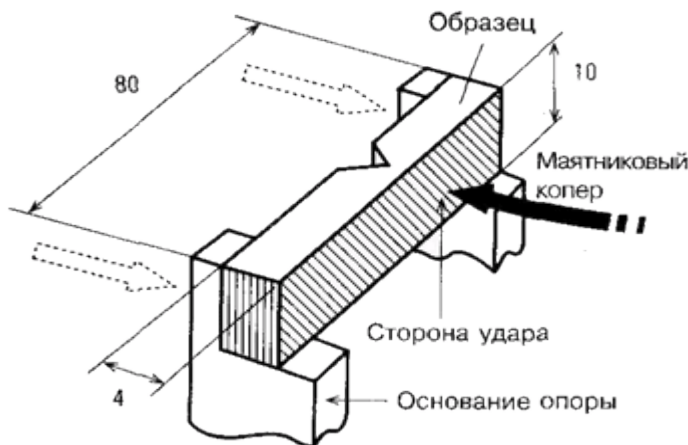


Рисунок 1. Схема испытания по методу Шарпи

В отличие от испытания по Шарпи сущность метода Изода заключается в разрушении консольно-закрепленного образца с надрезом ударом маятника поперек образца на определенном расстоянии от места закрепления (рис. 2).



Рисунок 2. Схема испытания по методу Изода

Ввиду того, что одним из основных назначений ударных испытаний является выявление склонности материала к хрупкому разрушению, при этих испытаниях стремятся к такому способу приложения нагрузки, при котором растягивающие напряжения и деформации были бы достаточно велики. Изгиб при ударных испытаниях имеет ряд методических преимуществ: простое и надежное измерение работы и большая простота проведения испытаний, особенно при высоких и низких температурах, в том числе и на облученных образцах в условиях «горячих камер».

Сравнение материалов по ударной вязкости или температуре хрупко-вязкого перехода позволяет выявлять наиболее благоприятный вариант по отношению к условиям эксплуатации.

Для исследования склонности металла к хладноломкости и определения температуры хрупко-вязкого перехода проводят серию испытаний на ударную вязкость при пониженных температурах. Температура резкого уменьшения ударной вязкости называется порогом хладноломкости.



Рис.3 График порога хладноломкости

Часто переход из вязкого состояния в хрупкое, сопровождающийся значительным уменьшением ударной вязкости происходит в определенном интервале температур. В таких случаях говорят о верхнем и нижнем пороге хладноломкости, т.е. о температуре начала и конца этого перехода. Иногда в таких случаях за критерий склонности металла к хладноломкости принимают условный порог хладноломкости, т.е. температуру при которой ударная вязкость получается не ниже определенной величины. Например по нормам Международного института сварки за критическую температуру принимают температуру, соответствующую ударной вязкости $3,5 \cdot 10^5$ Дж/м²; в США за критическую принимают температуру, соответствующую ударной вязкости от $2,1$ до $4,1 \cdot 10^5$ Дж/м² (в зависимости от ответственности конструкций, для изготовления которых предназначается исследуемый металл).

При переходе из вязкого состояния в хрупкое не только резко уменьшается ударная вязкость, но и меняется характер поверхности излома. Вязкий излом – матовый, волокнистый, со следами пластической деформации. Хрупкий излом имеет «кристаллический» характер без видимых следов пластической деформации. В связи с этим существует способ определения условного порога хладноломкости, как температуры, при которой на поверхности излома наблюдается

определенная доля хрупкой составляющей излома (например, 10, 50, 90%). Чем больше принят допуск на количество хрупкой составляющей на поверхности излома, тем ниже будет условный порог хладноломкости. При допуске 10% эта температура будет очевидно близка к верхнему порогу хладноломкости, а при допуске 90% – к нижнему.

Оценка склонности сталей к хрупкому разрушению в большинстве случаев инженерной практики проводится по результатам испытаний на ударный изгиб образцов с надрезом вида U (образец Менаже) и образцов острым надрезом вида V (DVM). В некоторых случаях, при испытаниях металлов и сплавов для особо ответственных конструкций, применяются образцы с концентратором вида Т. Концентратор вида Т (усталостная трещина) получают в вершине начального надреза при плоском циклическом изгибе образца при этом число циклов нагружения N не должно быть менее 3000. Способ получения начального концентратора может быть любым.

Различные типы образцов по ГОСТ 9454-78 показаны на рисунках 4,5.

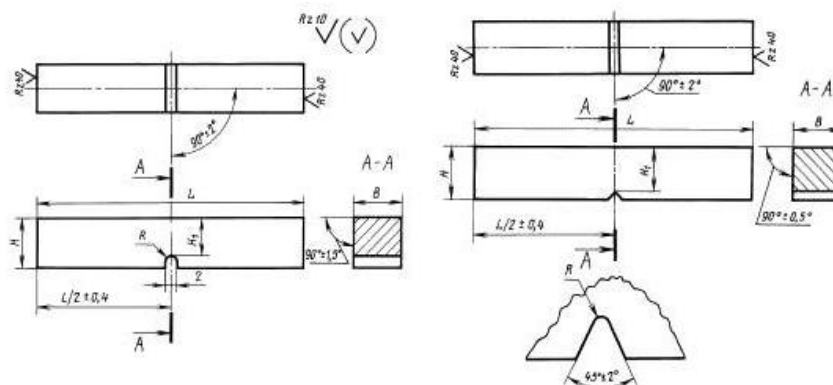


Рисунок 4. Эскизы образцов с концентраторами вида U и V

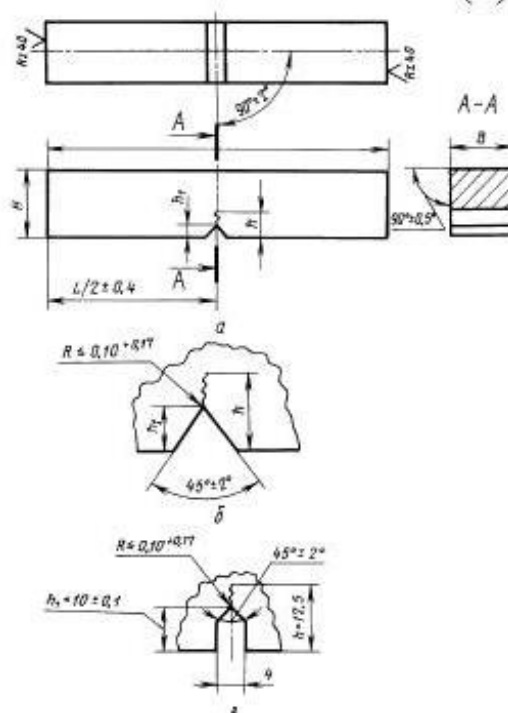


Рисунок 5. Эскизы образцов с концентратором вида Т

Области применения образцов с различными концентраторами приведены в таблице 1.

Таблица 1. Области применения образцов

Вид концентратора	Тип образца	Область применения
U	1-10	При выборе, приемо-сдаточных испытаниях металлов и сплавов

V	11-14	При выборе, приемо-сдаточных испытаниях металлов и сплавов для конструкций повышенной степени надежности (летательные аппараты, транспортные средства, трубопроводы, сосуды давления и т.п.)
T	15-20	При выборе и приемочном контроле металлов и сплавов для особо ответственных конструкций, для эксплуатации которых оценка сопротивления развитию трещины имеет первостепенное значение. При исследовании причин разрушения ответственных конструкций

Таблица 2. Форма и размеры образцов для испытаний на ударный изгиб по ГОСТ 9454-78

Издание по ГОСТ 9454-78									
	Радиус концентратора R	Тип образца	Длина L (пред. откл. $\pm 0,6$)	Ширина, B	Высота H (пред. откл. $\pm 0,1$)	Глубина надреза h_1 (пред. откл. $\pm 0,1$)	Глубина концентратора h (пред. откл. $\pm 0,6$)	Высота рабочего сечения H_1	
	$1 \pm 0,07^*$	1	55	$10 \pm 0,10$	10	-	-	$8 \pm 0,1$	
		2		$7,5 \pm 0,10$					
		3		$5 \pm 0,05$					
		4		$2 \pm 0,05$	8			$6 \pm 0,1$	
		5		$10 \pm 0,10$	10				$7 \pm 0,1$
		6		$7,5 \pm 0,10$					
		7		$5 \pm 0,05$					
		8		$10 \pm 0,10$				$5 \pm 0,1$	
		9		$7,5 \pm 0,10$					
		10		$5 \pm 0,05$					
V	$0,25 \pm 0,025$	11	55	$10 \pm 0,10$	10	-	-	$8 \pm 0,05^*$	
		12		$7,5 \pm 0,10$					
		13		$5 \pm 0,05$	8			$6 \pm 0,05$	
		14		$2 \pm 0,05$					
T	Трещина	16	55	$10 \pm 0,10$	11	1,5	3,0	-	
		17		$7,5 \pm 0,10$					
		18		$5 \pm 0,05$	9				
		19		$2 \pm 0,05$					
		20	140	$25 \pm 0,10$	25	10,0	12,0		

Для испытаний на ударную вязкость наибольшее распространение получили маятниковые копры. Принципиальная схема приведена на рисунке 6.

Основной частью копра является массивный маятник, который может качаться на оси. В поднятом положении маятник обладает определенным запасом энергии (в зависимости от высоты подъема). При падении маятник, проходя через вертикальное положение, ударяет по образцу и разрушает его, на что затрачивается часть энергии маятника. Оставшаяся часть энергии затрачивается на подъем маятника после удара. Скорость движения маятника в момент удара по образцу должна быть в пределах 4-7 м/сек, что соответствует скорости деформации стандартных образцов порядка 10^2 1/сек.

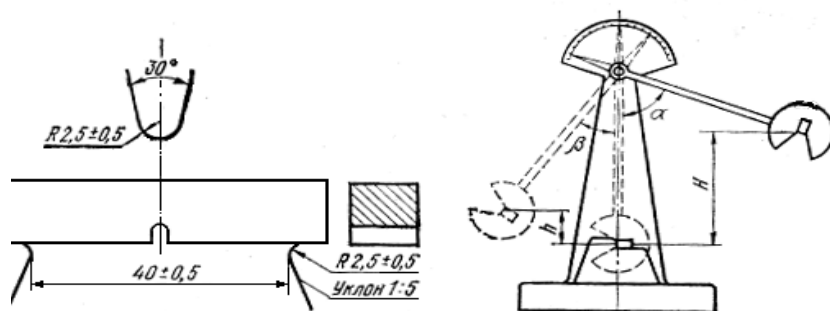


Рисунок 6. Схема испытания на маятниковом копре

Зная высоту подъема маятника до и после удара и его вес, можно подсчитать работу, затраченную на разрушение образца. На копрах эта работа определяется автоматически. Для этого к маятнику прикреплен поводок, который при подъеме маятника в исходное положение устанавливает подвижную рамку со шкалой в определенном положении в соответствии с высотой подъема маятника, т.е. с запасенной маятником энергией. После удара маятник, поднимаясь, тем же поводком перемещает вдоль шкалы стрелку до уровня, соответствующего высоте подъема маятника, т.е. его энергии после удара. Таким образом, мы автоматически определяем разницу между энергиями маятника до и после удара, т.е. работу, затраченную на пластическую деформацию и разрушение образца. Копры различаются по весу маятника и соответственно энергии удара.

3. Оборудование, приборы и материалы

Маятниковые копры МК - 5 с ценой деления 0,01 кгс×м и МК - 1,5 с ценой деления 0,01 кгс×м, ГОСТ 10708.

Штангенциркуль ШЦ-1 с отсчетом по нониусу 0.01 мм, ГОСТ 166.

Линейка измерительная с ценой деления 1 мм, ГОСТ 427.

Индикатор часового типа ИЧ с ценой деления 0,01, ГОСТ 577.

Пинцет – усиленный, ГОСТ 21241.

Термометр с допускаемой погрешностью измерения $\pm 1^{\circ}\text{C}$ в диапазоне температур от $+20$ до -90°C , ГОСТ 28489.

Потенциометр ПП – 63, класса 0,05, ГОСТ 9245.

Термоэлектрический преобразователь первичный (термопара) типа Т, 2 класса с пределом допускаемого отклонения при измерении температуры ($0,015 \text{ t }^{\circ}\text{C}$) в диапазоне температур от -200 до -67°C , ГОСТ 6616.

Термоэлектрический преобразователь первичный (термопара) типа К, 2 класса с пределом допускаемого отклонения при измерении температуры ($0,004 \text{ t }^{\circ}\text{C}$) в диапазоне температур от 375 до 1000°C , ГОСТ 6616.

Электропечь с программируемым регулятором-измерителем температуры типа ТП-700, класса 0,5, ГОСТ 15150.

Смесь жидкого азота с этиловым спиртом, ГОСТ 9293.

Таблица 3. Геометрические размеры в мм образцов по ГОСТ 9454

Вид концентратора	Радиус концентратора	Длина, L	Ширина, В	Высота, Н ₀	Высота рабочего сечения, Н ₁
U	$1 \pm 0,07$	$55 \pm 0,6$	$10 \pm 0,1$ $5 \pm 0,05$ $2 \pm 0,05$	$10 \pm 0,1$ $8 \pm 0,1$	$5 \pm 0,05$ $8 \pm 0,1$ $6 \pm 0,1$
V	$0,25 \pm 0,025$	$55 \pm 0,6$	$5 \pm 0,05$ $2 \pm 0,05$	$10 \pm 0,1$ $8 \pm 0,1$	$8 \pm 0,05$ $6 \pm 0,05$
Примечание: Допускается проводить испытания на образцах размером $3,3 \times 3,3 \times 27$ мм и $3 \times 4 \times 27$ мм с V-образным надрезом (ASTM методика D256)					

При вырезке образцов металл заготовок не должен подвергаться наклёпу и нагреву, изменяющих свойства металла, если не предусмотрено иное в нормативно-технической документации на продукцию.

Максимальный остаточный прогиб, образовавшийся при нанесении на образцах концентраторов вида U и V не должен превышать 0,02мм.

Контроль прогиба образцов осуществляется с помощью индикатора часового типа ИЧ на базе длины образца в плоскости перпендикулярной Н₀.

На поверхности образцов не допускаются трещины, раковины, нанесенные риски глубиной более 0,01мм, механические повреждения и другие виды дефектов.

Образцы для испытаний укладываются в пакеты, которые в свою очередь, маркируются номером образца, плавки, партии или условным индексом вне рабочей части. Допускается иная маркировка образцов, соответствующая нормативно-технической документации на соответствующий вид продукции.

4. Содержание и порядок выполнения работы

Проведение испытаний для определения характеристик механических свойств материалов может проводиться как в соответствии с отечественными или международными стандартами, так и методиками выполнения испытаний. В нашем случае лабораторная работа проводится в соответствии с методикой выполнения испытаний образцов сталей на ударный изгиб.

Методика устанавливает *инструкцию* выполнения испытаний на ударный изгиб образцов сталей размером 10x10x55 5x10x55 и 2x8x55 мм с концентратором напряжений.

Методика предназначена для определения следующих характеристик механических свойств:

- работы удара, KU или KV;
- ударной вязкости, KCU или KCV при температурах от минус 196 °С до плюс 800 °С.

Методика устанавливает правила подготовки образцов, требования к оборудованию и приспособлениям, правила проведения испытаний, расчетов и оформления результатов испытаний.

Методика соответствует общим положениям и отдельным требованиям ГОСТ 9454, ГОСТ 22848 и ГОСТ 10708.

Все определения, термины, применяемые в методике, и пояснения к ним по ГОСТ 9454.

4.1. Подготовка к проведению испытаний

Измерение геометрических размеров

Высоту рабочего сечения образца H_1 измеряют штангенциркулем ШЦ-1 и определяют среднее арифметическое двух измерений.

Высоту образца до испытания H_0 измеряют штангенциркулем ШЦ-1 в двух сечениях по длине образца на расстоянии не более 10 мм от краев и определяют среднее арифметическое двух измерений.

Ширину образца B_0 измеряют штангенциркулем ШЦ-1 в трех точках рабочей части образца и определяют среднее арифметическое трех измерений.

Начальную площадь поперечного сечения рабочей части образца (F_0), см², вычисляют по формуле (2) и округляют до числа кратного 0,01 см²:

$$S_0 = H_1 \times B_0, \quad (2)$$

Перед началом испытаний проверяют положение указателя работы при свободном падении маятника копра. Указатель работы должен возвращаться на нулевую отметку с отклонением $\pm 0,5\%$ от максимальной энергии удара маятника, но не более 0,01 (0,1) Дж (кгс×м).

Для обеспечения требуемой температуры испытания, образец переохлаждают в термостате или перегревают в печи, в зависимости от задания на испытание. Степень переохлаждения или перегрева должна обеспечивать требуемую температуру испытания. Температура переохлаждения или перегрева образца при условии, что он может быть испытан не позднее чем через 3 – 5 с после извлечения из термостата или печи приведена в таблице 2.

Комнатной температурой считается температура $20 \pm 10^\circ\text{C}$.

Для контроля температуры в процессе нагрева к образцу подводят термопару типа К (хромель-алюмель).

Для контроля температуры в процессе охлаждения к образцу подводят термопару типа Т (медь-константан).

Выбор приспособления для извлечения образца из термостата или печи производят таким образом, чтобы его, соприкасающаяся с образцом, часть не влияла на температуру образца при установке на опоры копра, т.е. рабочая часть приспособления должна находиться в той же температурной среде, что и образец.

Выдержку образца в термостате или печи при заданной температуре (с учётом необходимого переохлаждения или перегрева) проводят в течение 15 минут для всех температур.

Номинальное значение потенциальной энергии маятника выбирают таким образом, чтобы предполагаемое значение работы удара для данного образца материала составляло не менее 10 % от номинального значения потенциальной энергии маятника.

Таблица 4. Условия обеспечения заданной температуры испытаний

Температура испытания, °С	Температура, °С	
	переохлаждения	перегрева
Св. минус 196 до минус 100	6	-
минус 100 - минус 60	4-6	-
минус 80 - минус 40	3-4	-
минус 40 - плюс 10	2-3	-
плюс 30 - плюс 200	-	3-5
плюс 200 - плюс 400	-	5-10
плюс 400 - плюс 500	-	10-15
плюс 500 - плюс 600	-	15-20
плюс 600 - плюс 700	-	20-25
плюс 700 - плюс 800	-	25-30
Примечание: Выдержка образцов по пункту 6.8 в условиях переохлаждения или перегрева не должна оказывать влияния на структурное состояние материала.		

Расстояние между опор копра для образцов длиной $L=55$ мм устанавливают равным $40^{+0,5}$ мм.

Выставляют торцевые ограничители для симметричного расположения концентратора относительно опор с погрешностью не более $\pm 0,5$ мм.

4.2. Проведение испытаний

Помещают образец в нагревательное устройство (электропечь) или термостат, в зависимости от задания на испытание.

Закрепляют на образце термопару и производят нагрев или охлаждение образца, в соответствии с таблицей 1. Контроль температуры:

при нагреве - по показаниям измерителя температуры ТП700;

при охлаждении – по показаниям потенциометра ПП-63.

Устанавливают маятник копра в рабочее положение и закрепляют фиксатором.

После выдержки при заданной температуре в течение 15 минут образец извлекают из печи или термостата и устанавливают на опоры копра. Установку образца производят таким образом, чтобы удар маятника приходился со стороны противоположной концентратору в плоскости его симметрии. Концентратор напряжений (надрез) должен быть направлен в сторону удара.

Освобождают фиксатор маятника копра и производят удар.

После остановки маятника снимают показания стрелочного указателя работы.

4.3. Обработка результатов испытаний

Работа удара в Дж ($\text{кгс}\times\text{м}$) определяется по показаниям стрелочного указателя работы маятника копра. Полученное значение округляют до 0,05 (0,005) Дж ($\text{кгс}\times\text{м}$).

Ударную вязкость (KCU , KCV) Дж/ м^2 ($\text{кгс}\times\text{м}/\text{см}^2$) вычисляют по формуле (3):

$$KC = K/S_0, \quad (3)$$

где K – работа удара, Дж ($\text{кгс}\times\text{м}$); S_0 – начальная площадь поперечного сечения образца в месте концентратора, м^2 (см^2) и округляют полученное значение до 1 (0,01) Дж/ м^2 ($\text{кгс}\times\text{м}/\text{см}^2$).

Если в результате испытания образец не разрушился полностью, то показатель качества материала считается не установленным. В этом случае в протоколе испытания указывают, что образец при максимальной энергии удара маятника не был разрушен.

Результаты замеров и испытаний заносят в протокол.

Образец протокола испытаний на ударный изгиб:

Протокол №-___ от _____ 20__ г.

Марка копра, № свидетельства о поверке _____

Максимальная энергия удара маятника _____

Скорость маятника в момент удара _____

Тип образца _____

№ п/п	Марки ровка	Мат ериал	Т исп,	Шир ина, В ₀	Выс ота, Н ₀	Высот а рабо че го сече ния, Н ₁	S ₀	К	КС
			°С	м	м	м	м ²	Дж	Дж/ м ²

5. Форма рабочего журнала (отчет)

Отчет должен содержать:

- титульный лист;
- цель работы и краткое теоретическое введение;
- контролируемые параметры и их определения;
- результат самостоятельной оценки параметров испытанного образца на ударный изгиб – для каждого студента;
- выводы: описание проделанного, выявленные отличительные особенности испытанных образцов.

6. Контрольные вопросы

1. Какие методы испытаний на ударный изгиб применяются на практике?
2. Назовите типы концентраторов напряжений ударных образцов, в каких случаях они применяются?
3. Что такое ударная вязкость, в каких единицах измеряется?
4. Что такое хладноломкость?
5. Что такое интервал и порог хладноломкости?
6. Почему по температурной зависимости ударной вязкости не всегда возможно найти порог хладноломкости?
7. По каким характеристикам, кроме ударной вязкости, можно судить о переходе от вязкого разрушения к хрупкому?
8. Как влияет величина зерна стали на температуру порога хладноломкости?
9. С какой точностью измеряются размеры образцов?
10. От чего зависит точность определения температуры на образце в момент удара?
11. Из чего складывается ошибка измерения КС?

7. Список литературы

- 1 Фридман Я.Б. Механические свойства металлов. кн. 2 – М. Машиностроение, 1974 – 367 с.
- 2 ГОСТ 9454-78 Металлы. «Метод испытания на ударный изгиб при пониженных, комнатной и повышенных температурах», М. Издательство стандартов, с. 9.
- 3 ГОСТ 2248-77 Металлы. «Метод испытания на ударный изгиб при температурах от минус 100 до минус 269 °С», М. Издательство стандартов, с. 9.
- 4 ГОСТ 10708-82 Копры маятниковые. «Технические условия», М. Издательство стандартов, с. 11.
- 5 ГОСТ Р 8.563-96 «Методики выполнения измерений», М. Издательство стандартов, с. 19.
- 6 ОСТ 95 10351-2004 Отраслевая система обеспечения единства измерений «Общие требования к методикам выполнения измерений», М. ЦНИИАтоминформ, с. 79.
- 7 Ермолаев Г.Н., Голиков И.В., Леонтьева-Смирнова М. В., Чернов В.М и др. Механические свойства малоактивируемой ферритно-мартенситной стали ЭК181 при статических и ударных нагрузках. ВАНТ, Серия «Материаловедение и новые материалы», 2009 г.
8. М.Л. Бернштейн, В.А. Займовский. Механические свойства металлов - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Металлургия, 1979. - 495 с.