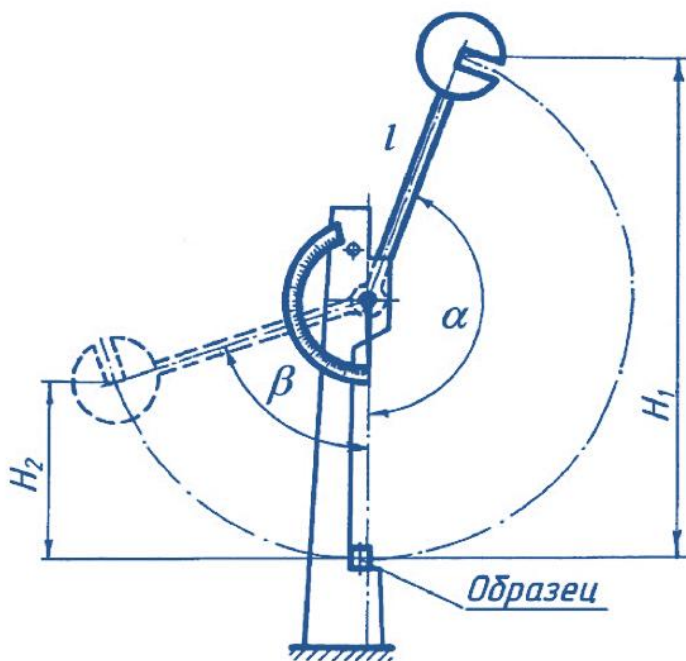


# ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДАРНОЙ ВЯЗКОСТИ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Методические рекомендации



**МИНИСТЕРСТВО ПРОСВЕЩЕНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Южно-Уральский государственный гуманитарно-  
педагогический университет»

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДАРНОЙ ВЯЗКОСТИ  
МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ**

**Методические рекомендации**

**Челябинск  
2022**

УДК 621.8 (07)(021)

ББК 34.44я73

И 37

**Измерение ударной вязкости металлов и сплавов:** методические рекомендации / сост. В.А. Белевитин. – Челябинск: Изд-во Южно-Урал. гос. гуман.-пед. ун-та, 2022. – 36 с. – Текст: непосредственный.

Методические рекомендации посвящены описанию наиболее распространённого метода измерения ударной вязкости металлов и сплавов по Шарпи применительно к деталям узлов и механизмов автомобильного транспорта. Включают общие и специфические сведения о методах измерения ударной вязкости металлов и сплавов по Шарпи, рассматриваются особенности этого метода с примерами измерения ударной вязкости металлов и сплавов и расчёта процентного содержания вязкой составляющей в изломе ударных образцов, характеризующей сопротивление стали хрупкому разрушению.

Пособие адресовано студентам, обучающимся по программе бакалавриата направления подготовки 44.03.04 Профессиональное обучение (по отраслям), профиль «Транспорт».

Рецензенты: М.С. Дмитриев, д-р техн. наук, доцент  
К.Н. Семендяев, канд. техн. наук

© Издательство Южно-Уральского  
государственного гуманитарно-  
педагогического университета, 2022

## СОДЕРЖАНИЕ

Пояснительная записка.....	5
1. Ударная вязкость как характеристика сопротивления действию ударных нагрузок.....	7
2. Методы измерения ударной вязкости конструкционного материала.....	16
3. Определение ударной вязкости металлов и сплавов.....	25
Контрольные вопросы .....	33
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	34

## Пояснительная записка

В условиях постоянного развития производства металлов и сплавов, внедрения новых конструкционных материалов возникают повышенные требования к знаниям, умениям и навыкам квалифицированных рабочих в области конструкционных материалов. Одной из наиболее распространённых характеристик, определяющих качество конструкционных материалов, возможность их применения в различных конструкциях и при эксплуатационных условиях работы, является ударная вязкость. Детали машин (рессоры, торсионы, коленчатые валы, зубчатые колеса и др.), работающие при динамических знакопеременных нагрузках, должны обладать высокой прочностью на удар (ударная вязкость). Ударная вязкость – это способность материала оказывать сопротивление действию ударных нагрузок, т.е. деформироваться пластически под воздействием динамических нагрузок. Другими словами, это также эффективность сопротивления хрупкому типу разрушения – одному из самых опасных видов, при котором трещина очень быстро становится магистральной: мгновенно возникает, а разрастается за доли секунды, т.е. под влиянием ударных нагрузок может произойти разрушение детали, поэтому, насколько хорошо конструкционный материал сопротивляется таким нагрузкам, знать необходимо в обязательном порядке. Ударная вязкость металлов и сплавов определяется их химическим составом, термиче-

ской обработкой и другими внутренними факторами. Вязкость также зависит от условий, в которых работает металл (окружающей температуры, скорости нагружения, наличия концентраторов напряжения).

Для оценки способности сопротивляться динамическим (ударным) нагрузкам производят механические испытания материалов на ударную вязкость в рабочем диапазоне температур детали. Согласно ГОСТ 26528-98 (ИСО 5754-78) для металлов и сплавов, работающих в условиях атмосферных колебаний температур, ударную вязкость определяют в интервале температур от 50 °С до –60 °С. Для надёжной работы деталей при отрицательных температурах необходимо, чтобы температурный порог хладноломкости (склонность металла к переходу в хрупкое состояние с понижением температуры) был ниже температуры эксплуатации материала; чем он ниже, тем меньше опасность хрупкого разрушения. Чем ниже порог хладноломкости, тем более надежна сталь при эксплуатации в определенных условиях. Температуре хладноломкости соответствует вид излома, при котором доля хрупких и вязких участков находится в соотношении «50:50». Поэтому она называется также «температурой полухрупкости» – T50. Разницу между реальной температурой эксплуатации и T50 называют *запасом вязкости*.

На современном этапе в учебном процессе все более актуальной становится задача использования возможно-

стей информационных технологий для расширения спектра методических средств и создания учебных материалов нового поколения. Мультимедиа технологии являются перспективными и популярными направлениями информатики и все шире применяются в учебном процессе. Они имеют целью создание компьютерного продукта, содержащего коллекции изображений, текстов и данных, сопровождающихся звуком, видео, анимацией и другими визуальными эффектами, включающего интерактивный интерфейс и другие механизмы управления.

Мультимедийные обучающие материалы становятся неотъемлемой частью методического и информационного обеспечения образовательного процесса. Их применение при изучении технических дисциплин помогает разгрузить преподавателя и учащихся, высвободить дополнительное время на разбор сложных или специфических моментов дисциплины, позволяет внести творческий элемент в изучение предмета.

Насущная необходимость разработки и внедрения качественных мультимедийных учебных материалов обусловлена как потребностями студентов, так и преподавателей. С одной стороны, применение таких материалов повышает эффективность самостоятельной работы студентов, их интерес к изучению дисциплины, а, следовательно, уровень усвоения материала. С другой стороны, использование мультимедийных средств решает задачу повышения

качества аудиторной работы преподавателя со студентами и, прежде всего, за счет наиболее наглядной визуализации контента учебно-образовательных материалов.

## **1. Ударная вязкость как характеристика сопротивления действию ударных нагрузок**

Механические свойства определяют поведение конструкционного материала под действием приложенных внешних нагрузок. Механические свойства характеризуют сопротивление металла деформации (характеристики прочности) или разрушению (характеристики пластичности, вязкости). Эти характеристики необходимы для выбора конструкционных материалов и режимов их термической обработки, расчетов на прочность конструкций, контроля их состояния в процессе эксплуатации. Среди характеристик механических свойств различают:

- характеристики конструкционной прочности, т.е. критерии надежности и долговечности материалов (вязкость разрушения, сопротивление усталости, коррозии, износостойкость и т.д.);
- критерии, определяемые независимо от конструктивных особенностей и характера службы изделий, определяемые при стандартных испытаниях.

Характеристики, которые определяют в лабораторных условиях на образцах методами стандартных испытаний, составляют основную группу характеристик механи-



ческих свойств. Одной из таких характеристик является ударная вязкость  $KC$ , склонность металла к хрупкому разрушению; она включает работу зарождения трещины ( $\alpha_3$ ) и работу распространения трещины ( $\alpha_p$ ) [1]:

$$KC = \alpha_3 + \alpha_p. \quad (1)$$

Чем больше работа распространения трещины, тем меньше возможность внезапного хрупкого разрушения.

Ударная вязкость зависит от:

- размера зерна металла – измельчение зерна приводит к значительному повышению ударной вязкости;
- наличия концентраторов напряжений в изделии;
- природы материала и особенностей его обработки;
- наличия вредных примесей;
- скорости деформации – чем выше скорость, тем ударная вязкость ниже;
- температуры испытания металла.

При уменьшении температуры ниже некоторого предельного значения опасность хрупкого разрушения резко возрастает. Порог хладноломкости – это температура (интервал температур), при котором происходит переход от вязкого разрушения к хрупкому, сопровождающийся резким снижением ударной вязкости. Нижний ( $t_H$ ) и верхний ( $t_B$ ) пределы порога хладноломкости определяют в серии ударных испытаний при разных температурах (рис. 1).

Тип разрушения определяет вид излома металла (рис. 2).

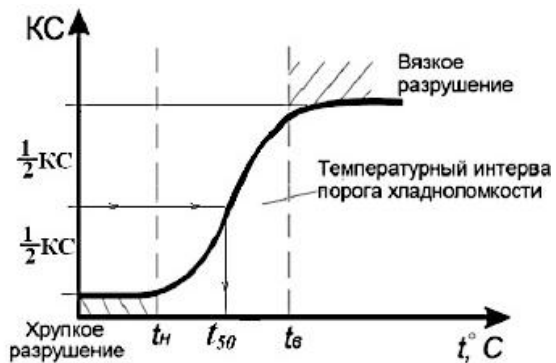


Рис. 1 – Зависимость ударной вязкости от температуры и определение порога хладноломкости

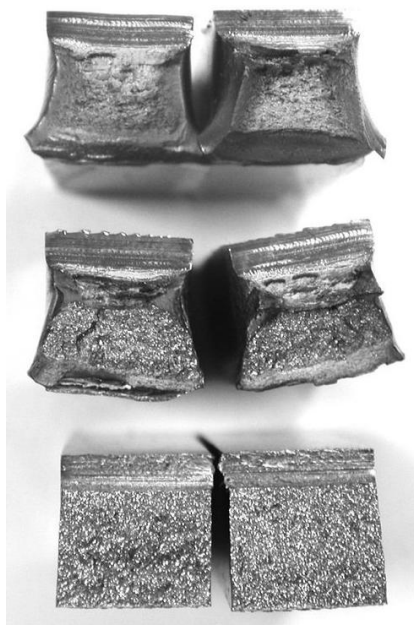


Рис. 2 – Вязкий (а) промежуточный (б) и хрупкий (в) изломы металла [2]

Вязкому разрушению соответствует вязкий излом, имеющий матовое, волокнистое строение, хрупкому разрушению – хрупкий излом с блестящим, кристаллическим строением [2]. При переходе из вязкого состояния в хрупкое меняется вид излома металла: доля волокнистой составляющей в изломе уменьшается, а кристаллической – увеличивается.

Хорошо видно различие между образцами, разрушенными по разным механизмам. Вязкий излом с матовой поверхностью и следами пластической деформации в зоне разрушения (рис. 2а). И хрупкий излом с блестящей поверхностью и без следов деформации – ровный скол, будто бы образец был разделен острым ножом (рис. 2в). Еще есть и промежуточный вид смешанного разрушения, в котором обычно присутствует и вязкая, и хрупкая составляющие (рис. 2б). Наиболее опасным для реальных конструкций является хрупкое разрушение, при котором трещина имеет малый угол раскрытия (острая), пластическая деформация почти отсутствует; при вязком – трещина тупая, поверхность разрушения обычно значительно деформирована (рис. 3).

Скорость распространения хрупкой трещины сравнима со скоростью звука в металле (тысячи метров в секунду), вязкая трещина распространяется значительно медленнее, ее скорость определяется скоростью нарастания напряжения.

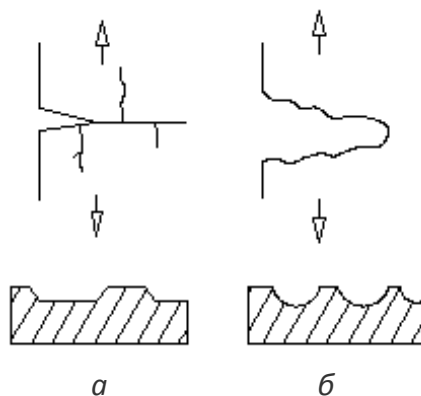


Рис. 3 – Вид трещины и схемы разрушения:  
*а* – хрупкое, *б* – вязкое

Сопротивление стали хрупкому разрушению характеризуется процентом вязкой составляющей в изломе ударных образцов. Хрупкая составляющая в изломе ударного образца сечением 8×10 мм имеет вид трапеции (рис. 4), площадь  $F_1$  которой увеличивается по мере увеличения доли хрупкой составляющей.

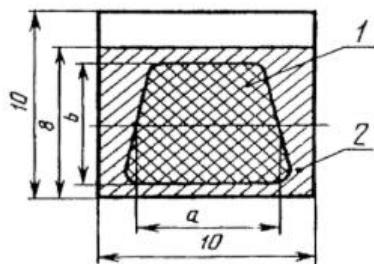


Рис. 4 – Схема ударного излома

Вязкая составляющая располагается, как правило, вокруг хрупкой составляющей. Площадь  $F_1$ , занимаемую хрупкой составляющей, определяют как произведение средней линии трапеции  $a$  на высоту  $b$  (см. рис. 4). Отношение этой площади  $F_1$  ко всей площади излома  $F$  ( $80 \text{ мм}^2$ ) составляет долю хрупкой составляющей в изломе ( $X$ ) в процентах:

$$X = 100 \cdot F_1 / F.$$

Соответственно, вязкая составляющая ( $B$ ) в процентах равна:

$$B = (100 - X).$$

Замер параметров ( $a$ ,  $b$ ) площади, занимаемой хрупкой составляющей, производят линейкой с точностью до 0,5 мм; при этом погрешность измерения не должна превышать 5 %. Зная параметры  $a$  и  $b$ , процент составляющей определяют по таблице 1.

Таблица 1  
**Процент хрупкой составляющей**

Высота трапеции $b$ , мм	Вязкая составляющая в изломе ударных образцов, %																		
	Средняя линия трапеции $a$ , мм																		
	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10	
1,0	99	98	98	97	96	96	95	94	94	93	92	92	91	91	90	89	89	88	88
1,5	98	97	96	95	94	93	92	92	91	90	89	88	87	86	85	84	83	82	81
2,0	98	96	95	94	92	91	90	89	88	86	85	84	82	81	80	79	77	76	75
2,5	97	95	94	92	91	89	88	86	84	83	81	80	78	77	75	73	72	70	69
3,0	96	94	92	91	89	87	85	83	81	79	77	76	74	72	70	68	66	64	62
3,5	96	93	91	89	87	85	82	80	78	76	74	72	69	67	65	63	61	58	56
4,0	95	92	90	88	85	82	80	77	75	72	70	67	65	62	60	57	55	52	50
4,5	94	92	89	86	83	80	77	75	72	69	66	63	61	58	55	52	49	46	44
5,0	94	91	88	85	81	78	75	72	69	66	62	59	56	53	50	47	44	41	37
5,5	93	90	86	83	79	76	72	69	66	62	59	55	52	48	45	42	38	35	31
6,0	92	89	85	81	77	74	70	66	62	59	55	51	47	44	40	36	33	29	25
6,5	92	88	84	80	76	72	67	63	59	55	51	47	43	39	35	31	27	23	19
7,0	91	87	82	78	74	69	65	61	56	52	47	43	39	34	30	26	21	17	12
7,5	91	86	81	77	72	67	62	58	53	48	44	39	34	30	25	20	16	11	6
8,0	90	85	80	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5	0

Из-за изменения вида излома металла при переходе из вязкого состояния в хрупкое температурный порог хладноломкости можно определить при исследовании изломов: в качестве порога хладноломкости при этом принимают температуру, соответствующую равным долям волокнистой и кристаллической составляющих в изломе. В этом случае он обозначается T50, что означает 50%-ную долю волокна в изломе: доля хрупких и вязких участков находится в соотношении «50:50», поэтому она называется также *температурой полухрупкости* – T50. Разницу между реальной температурой эксплуатации и T50 называют *запасом вязкости*. Рабочая температура эксплуатации изделия должна быть выше порога хладноломкости материала, который составляет для большинства сталей диапазон от –40 до –50 °С. Чем выше температурный запас вязкости конструкционного материала, т.е. разница между порогом хладноломкости и рабочей температурой, тем меньше риск катастрофического разрушения изделия.

Склонность к хрупкому разрушению при низких температурах зависит от кристаллического строения и структуры металла. Металлы с ОЦК-решеткой (сплавы на основе  $\alpha$ -железа, хром, вольфрам, молибден), некоторые металлы с ГП-решеткой (цинк, магний, кадмий, кроме титана), являются как правило хладноломкими. Металлы с решёткой ГЦК (аустенитные стали, медь, никель, алюминий) фак-

тически не склонны к хладноломкости. Существенно понижается порог хладноломкости при измельчении зерна.

На практике чаще встречаются случаи смешанных разрушений (вязкохрупких), когда в изломе наблюдаются волокнистые и кристаллические составляющие. Реальные сплавы разрушаются, как правило, вязко при высоких и хрупко при низких температурах. Порог хладноломкости для реальных сплавов изменяется в очень широких пределах: для некоторых сплавов хрома, молибдена и вольфрама  $T_{хр}$  составляет сотни градусов Цельсия выше нуля, для никелевых – близко к абсолютному нулю. Собственно порог хладноломкости характеризуют иногда двумя температурами:  $T_v$  – верхняя граница порога, выше которого излом полностью вязкий (не менее 90 % волокна в изломе) и  $T_n$  – нижняя граница порога, ниже которой излом полностью хрупкий (не более 10% волокна в изломе). Если порог характеризуют одной величиной, то указывают середину порога  $T_{50}$  или  $T_{п.х.}$ , – температуру перехода в хрупкое состояние, при которой в изломе 50 % волокнистой составляющей.

Ударная вязкость в значительной мере отражает состояние поверхности испытуемого образца (рис. 5), т.к. распределение деформации в образце неравномерно и часто бывает сосредоточено в основном в поверхностных слоях.

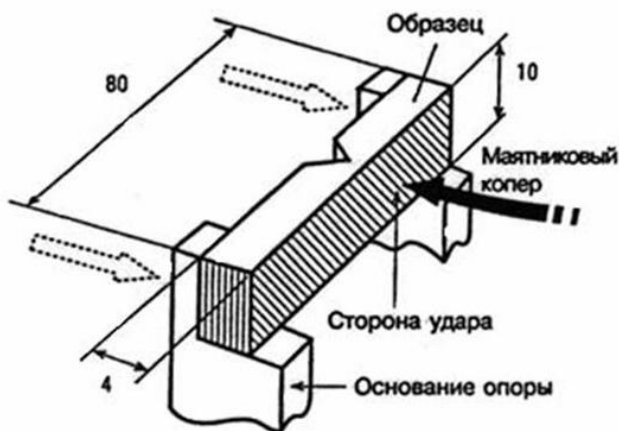


Рис. 4 – Определение ударной вязкости материалов по методу Шарпи [3]

Наличие твёрдых поверхностных слоев понижает ударную вязкость, а мягкие поверхностные слои повышают ее. Если надрезы на стальном образце, предназначенном для испытания на ударную вязкость, сделаны, например, до термической обработки, то даже небольшое обезуглероживание поверхности, приводящее к образованию мягкого и пластичного феррита, может повысить ударную вязкость. Поэтому при ударных испытаниях предписывается изготавливать надрез наготавливаемых образцах согласно ГОСТ 26528-98 (ИСО 5754-78) после их термической обработки.

Испытания на ударную вязкость являются одним из наиболее чувствительных методов контроля, чутко реагирующих на небольшие изменения состояния металла.



Имеет значение вид излома, в котором не допускаются газовые поры, шлаковые включения, расслоения и другие дефекты. Применять ударные испытания для чугунов, литых алюминиевых и магниевых сплавов нецелесообразно, т.к. сопротивление отрыву этих материалов достигается уже при статических нагрузках.

Чем выше пластические свойства конструкционного материала, тем более надежен этот материал при низких температурах. Эффективными мерами снижения порога хладноломкости T<sub>50</sub> и повышения надежности конструкционного материала являются: уменьшение содержания углерода, создание мелкозернистой структуры, понижение содержания вредных примесей (особенно серы), легирование стали никелем с последующим термическим упрочнением. Уровень ударной вязкости зависит и от способа выплавки стали: электросталь имеет наибольшую, бессемеровская – наименьшую, мартеновская – промежуточную величину вязкости.

## **2. Методы измерения ударной вязкости конструкционного материала**

Существующие сегодня варианты методов измерения ударной вязкости конструкционного материала подразделяются в честь тех, кто их ввел:

- по Шарпи (рис. 5);
- по Изоду (рис. 6), а также по Гарднеру.

Преимущественно для измерения ударной вязкости металлических конструкционных материалов используется метод по Шарпи, а метод по Изоду измерения ударной вязкости чаще всего используется для испытания показателя ударной вязкости у пластмасс.

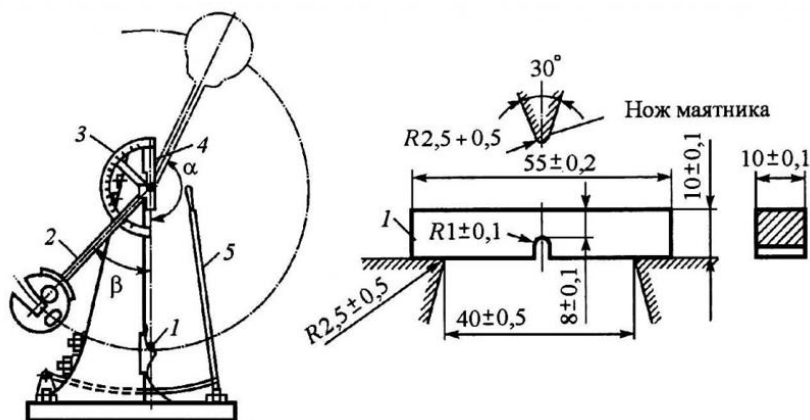


Рис. 5 – Метод измерения ударной вязкости по Шарпи

Испытания ударной вязкости металлических конструкционных материалов производится при температуре испытуемых образцов от  $-100$  °C до  $+1200$  °C (регламентирован ГОСТ 9454-78), обычно, в основном, как при комнатной температуре (ориентировочно от  $-15$  до  $+25$  °C), так и для исследования склонности металла к хладноломкости и определения температуры перехода в хрупкое состояние при пониженных температурах (ориентировочно от  $-40$  до  $-80$  °C). Для охлаждения металла применяются камеры холо-

да, источником низкой температуры в которых может являться жидкий азот или спирт.

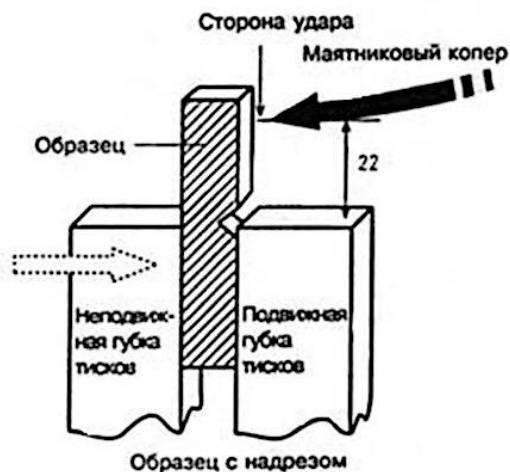


Рис. 6 – Метод измерения ударной вязкости по Изоду [1]

При использовании метода измерения ударной вязкости металлических конструкционных материалов по Шарпи стандартный призматический образец с надрезом (рис. 7а) устанавливают на опорах стоек копра так, чтобы удар маятника 2 приходился против надреза. Основной частью копра является массивный маятник, который может качаться на оси. В поднятом положении маятник обладает определенным запасом энергии (в зависимости от высоты подъема). Маятник массой  $G$  при помощи специальной рукоятки поднимают на высоту  $H$  в верхнее исходное положение I. При падении маятник ударяет по образ-

цу, разрушает его и поднимается в положение II на высоту  $h$ . Для остановки маятника имеется тормоз.

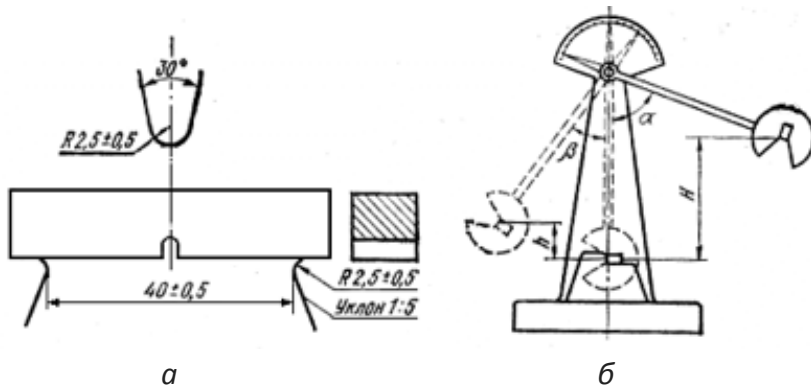


Рис. 7 – Схема ударного испытания образцов на маятниковом копре [4]

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. В результате таких испытаний определяется ударная вязкость (ан), которая является характеристикой сопротивления материала воздействию динамических нагрузок.

Зная высоту подъема маятника до и после удара ( $H$  и  $h$  соответственно) и его вес  $G$ , можно подсчитать работу  $A_H$ , затраченную на деформацию и разрушение образца, которая равна разности энергии маятника в его положениях I и II (до и после удара), т.е.:

$$A_H = G \cdot (H - h).$$

На копке МК-30 эта работа  $A_n$  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 энергий маятника до и после удара, т.е. работу, затраченную на пластическую деформацию и разрушение образца. Для вычисления ударной вязкости  $a_n$  нужно затраченную при испытании работу  $A_n$  разделить на площадь поперечного сечения  $F$  образца в месте надреза:

$$a_n = A_n/F.$$

Размерность ударной вязкости кгс/см<sup>2</sup> (Дж/м<sup>2</sup>).

Ударная вязкость  $a_n$  – 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.

Поскольку работа  $A_n$ , затраченная при испытаниях на ударную вязкость  $a_n$ , идет на пластическую деформацию какой-то части объема образца, правильнее было бы относить ее к этому объему, а не к площади поперечного сечения образца. Но измерение объема деформированной части образца затруднительно; кроме того, работа, затраченная на пластическую деформацию, распределена по этому объёму неравномерно. Поэтому обычно работу, затраченную на пластическую деформацию и разрушение, относят к площади поперечного сечения образца, хотя строгого физического смысла это отношение не имеет.

Проведение испытаний на ударную вязкость может иметь различное назначение:

1. Оценка поведения металла при динамических нагрузках, если детали или изделия из этого металла подвергаются в процессе эксплуатации таким нагрузкам, потому что, как уже говорилось, механические свойства при динамических нагрузках могут отличаться от тех, которые металл проявляет при статическом разрушении.
2. Контроль качества металла, поскольку динамические испытания более чувствительны к различным дефектам, возникающим в процессе производства и обработки (мик-

ротрещины, неметаллические включения, вредные примеси, неоднородность химического состава и структуры и т.д.)

3. Оценка склонности металла к хладноломкости, т.е. к переходу из вязкого состояния в хрупкое при понижении температуры. Это явление характерно для металлов с ОЦК и ГПУ решеткой. Статические испытания обычно не позволяют оценить склонность металла к переходу в хрупкое состояние и температуру этого перехода, т.к. при статических испытаниях образцы могут сохранять значительную пластичность при охлаждении до очень низких температур. Динамические испытания на изгиб образцов с надрезом являются наиболее жестким видом испытаний из всех стандартных испытаний механических свойств. Поэтому температура перехода в хрупкое состояние при динамических испытаниях выше, чем при статических, и поэтому она может быть определена при динамических испытаниях даже для таких материалов, которые при статических разрушаются вязко при самых низких температурах. Кроме того, проведение испытаний на ударную вязкость при низких температурах значительно проще, чем проведение статических испытаний.

Все это обуславливает то, что испытания на ударную вязкость, несмотря на указанные выше недостатки этой характеристики, являются основным способом оценки склонности металлов к хладноломкости.

Для исследования склонности металла к хладноломкости и определения температуры перехода в хрупкое состояние проводят серию испытаний на ударную вязкость при пониженных температурах. Температура резкого снижения ударной вязкости называется *порогом хладноломкости*. Часто переход из вязкого состояния в хрупкое, сопровождающийся значительным уменьшением ударной вязкости, происходит в интервале температур (рис. 8).

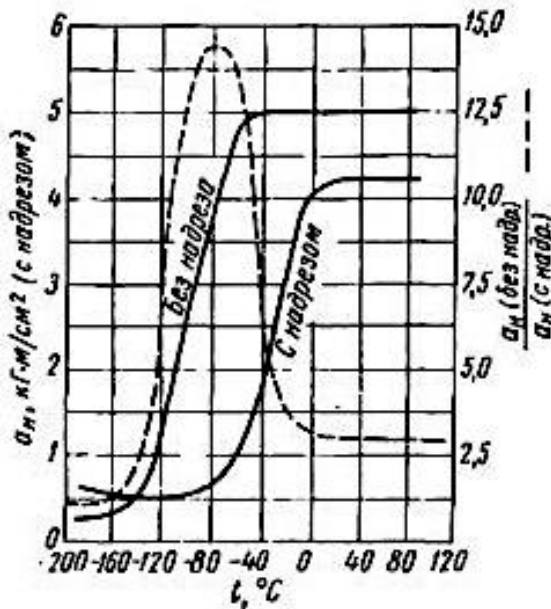


Рис. 8 – Влияние температуры и надреза на ударную вязкость высокопрочного чугуна [5]

В таких случаях говорят о верхнем и нижнем порогах 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. По нормам Международного института сварки за критическую температуру принимают температуру, соответствующую ударной вязкости  $3,5 \text{ кгм/см}^2$ ; в США за критическую принимают температуру, соответствующую ударной вязкости от  $2,1$  до  $4,1 \text{ кгм/см}^2$  (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.

### 3. Определение ударной вязкости металлов и сплавов

Ударная вязкость, характеризующая способность конструкционных материалов оказывать сопротивление действию ударных нагрузок, определяется на специальной установке – маятниковом копре (см. рис. 7 на стр. 19).

Для испытания на ударную вязкость конструкционных материалов в зависимости от степени надежности и области применения металлов и сплавов изготавливают образцы 20 типов. Основными являются образцы размерами 55x10x10 ( $\pm 0,1$ ) мм с надрезом посередине радиусом 1 мм и глубиной 2; 3; 5 мм. Форма надреза на образцах может быть трех видов (рис. 9): U-образной с радиусом 1 мм и глубиной 2 мм; V-образной с углом  $45^\circ$  и глубиной 2 мм; Т-образной с трещиной глубиной 5 мм посередине.

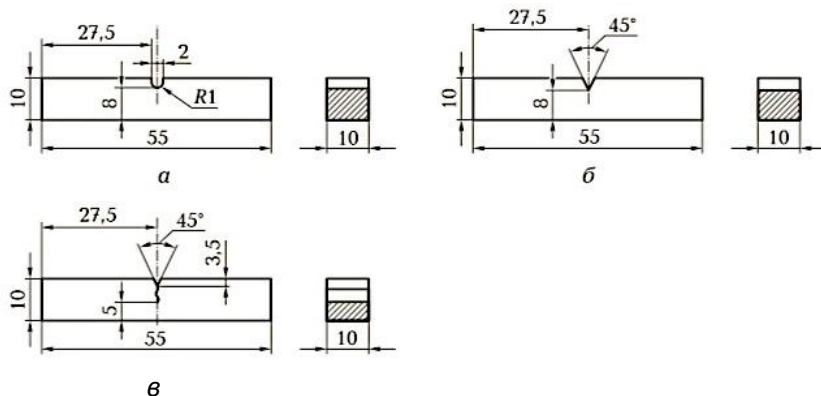


Рис. 8 – Образцы для испытания на маятниковом копре [6]:  
а – с U-образным концентратором напряжения; б – с V-образным концентратором напряжения; в – с Т-образным концентратором напряжения с трещиной посередине

Различные формы концентратора напряжений позволяют создать в образцах неравномерные напряжения, способствующие хрупкому разрушению (или изгибу под определенным углом) испытываемых образцов.

В зависимости от вида концентратора ударную вязкость обозначают KCU, KCV, KCT. Пример обозначения ударной вязкости:  $KCV^{+50} 150/2/8,5$ : V-образный концентратор напряжений; верхний индекс +50 – температура в градусах Цельсия, при которой проведено испытание образца; 150 – работа удара в Джоулях; 2 – глубина концентратора в миллиметрах; 8,5 – ширина образца в миллиметрах. При испытаниях, проводимых в нормальных условиях (при температуре 18–20 °С), индекс не ставят.

Образцы с V-образным концентратором (образцы Менаже) являются основными и используются при контроле металлических материалов для ответственных конструкций. Так детали машин (коленчатые валы, зубчатые колеса и др.), работающие при динамических нагрузках, должны обладать высокой прочностью на удар, т.е. иметь высокую ударную вязкость. Образцы Шарпи с U-образным надрезом рекомендуется применять при выборе и приемочном контроле металлов и сплавов до установления, при необходимости, 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.

Максимальная работа маятников при свободном падении составляет 300 Дж (30 кгс · м).

При испытаниях на маятниковом копре можно определять хладноломкость, тепловую хрупкость, синеломкость и другие зависящие от температуры механические характеристики. Для определения ударной вязкости деталей машин после закалки, литья и сварки, имеющих неоднородность структуры, применяют образцы размерами 55x10x11 мм с усталостной трещиной. Усталостную трещину изготавливают на специальных вибраторах.

Методические рекомендации по проведению испытания величины усталостной вязкости металлического конструкционного материала

1. Изучите инструкцию по охране труда при испытании материалов, устройство и принцип действия маятникового копра.

Маятниковый копер МК-30А предназначен для испытаний на ударный изгиб (рис. 9). К основным частям копра МК-30А относятся основание 1 и две вертикальные стойки 2. В верхней части стоек на оси, закрепленной в шарикоподшипниках, подвешен маятник 3. Он представляет собой металлический диск, в средней части которого есть вырез. В вырезе находится нож 4, разрушающий образец. На основании копра имеется опора 5, на которой размещают образец.

Круговая шкала 6 копра, показывающая величину энергии маятника, проградуирована в единицах работы (энергии). Нуль шкалы находится в нижней части, от которого в обе стороны отмечены деления (цена деления 0,2 кгс·м). На шкале имеются две стрелки. Поводок, жестко укрепленный на оси маятника, поочередно отводит стрелки и оставляет их в положениях, отвечающих углам подъема  $\alpha$ , т.е. величине начальной, запасенной энергии и углам взлета маятника  $\beta$  после разрушения образца (конечной, оставшейся энергии) (рис. 9б). До начала испытания необходимо проверить, чтобы обе стрелки совпадали с нулевой отметкой при свободно подвешенном маятнике.

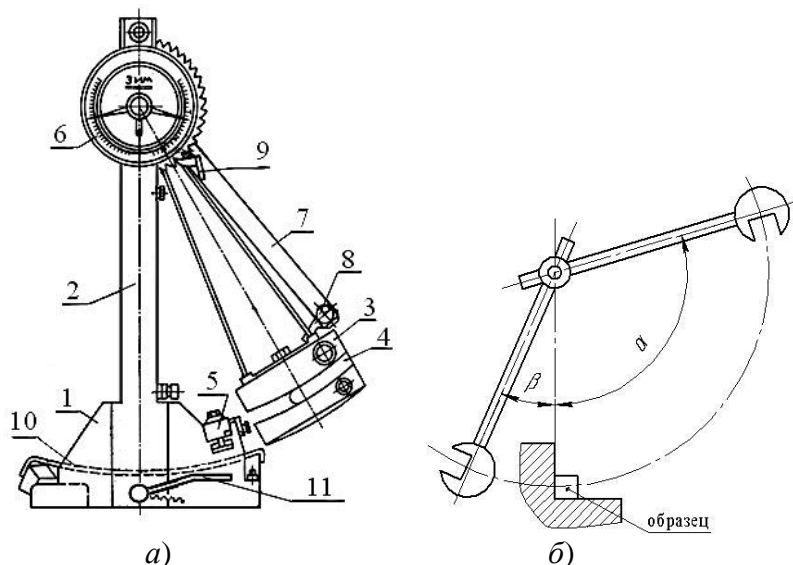


Рис. 9 – Схема маятникового копра МК-30А (а) и углы подъема  $\alpha$ , взлета  $\beta$  его маятника (б)

Для того чтобы расположить маятник на различные начальные углы подъема  $\alpha$  (изменить потенциальную энергию удара в зависимости от вязкости материала), копер снабжен подъемной рамкой 7, на конце которой укреплена защелка 8. С помощью защелки маятник присоединяется к подъемной рамке. В ее верхней части имеются фиксаторы 9, которые, перемещаясь по зубьям храповых секторов, устанавливают положение рамки, а значит, и маятника в различных углах  $\alpha$ .

Основные технические данные копра МК-30А, длина плеча  $L$  маятника которого равна 2,1 м (величина стандартная для копра), приведены в таблице 1.

Таблица 1

### Основные технические данные копра МК-30А

Характеристика	Значение
Тип копра	маятниковый
Вид испытаний	двухопорный ударный изгиб
Подъем маятника	вручную
Расстояние между опорами	от 40 до 100 мм
Радиус закругления ножа в поперечном сечении	$3 \pm 0,5$ мм
Радиус окружности передней кромки ножа	67 мм
Угол заострения ножа молота	$40 \pm 1^\circ$
Число ступеней запаса энергии	16
Наибольший запас потенциальной энергии маятника	30 кгм (~300 Дж)
Цена деления шкалы отсчетного маятника	0,2 кгм
Предел допустимой абсолютной погрешности измерения	$\pm 0,1$ кгм
Скорость движения маятника в момент удара	$5 \pm 0,5$ м/с

Внизу на уровне вертикально висящего маятника к колоннам станины прикреплены две стальные закаленные опоры 1, на которые помещают испытываемый образец (рис. 10). Под опорами между колоннами имеется тормоз-

ное устройство – стальная лента 10. Лента одним концом прикреплена к станине, а другим соединена с ножной педалью 11. При нажиме на педаль лента получает наибольший прогиб и не препятствует перемещению маятника, отпущенного с определенной высоты. После разрушения образца и возвращения маятника тормозная лента натягивается и останавливает его. Для того чтобы освободить маятник и снова поднять на угол  $\alpha$ , нужно нажать на педаль.

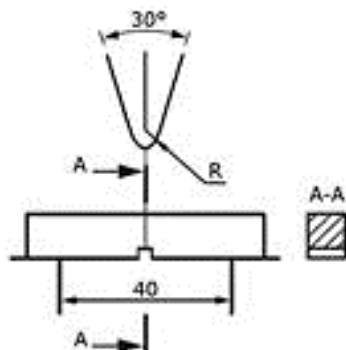


Рис. 10 – Опоры и нож маятника

Испытуемый образец, размеры которого предварительно замеряют, устанавливают на опоры 10 надрезом в противоположную сторону от ножа маятника. При испытании образца маятник освобождается от защелки 8, падая, ударяет образец, разрушает его и взлетает на некоторый угол, которым и определяется работа, затраченная на разрушение образца. В копке на оси маятника жестко закреплен поводок 9. При прямом и обратном движении маятни-

ка поводок увлекает за собой соответственно одну или другую стрелку круговой шкалы 6 и оставляет их в положении, фиксирующем нож, служащий бойком при испытании (см. рис. 10). При каждом испытании стрелку круговой шкалы 6 устанавливают в положение шкалы 0. Другая стрелка будет автоматически соответствовать уровню подъёма маятника с грузом. Освобождение маятника производится с помощью рукоятки защелки 14. Маятник, пройдя нижнее положение и разрушив образец, поворачивает стрелку шкалы на угол, который соответствует энергии, сохранившейся в маятнике после разрушения образца. Работа, затраченная на разрушение образца, будет равна разности энергии маятника до удара и после удара.

2. Осуществите проверку состояния образца для испытания ударной вязкости. Поверхность образца должна быть гладкой, ровной, без трещин, сколов, вздутий и раковин.
3. Выполните замеры ширины и толщины предназначенного для испытания образца, изготовленного из одной из набора марки стали, штангенциркулем с точностью до 0,1 мм.
4. Установите предназначенный для испытания образец на опоре 1 так, чтобы концентратор напряжений (надрез) был обращен в сторону, противоположную направлению удара маятника (см. рис. 10). Запрещается устанавливать образец, когда маятник поднят на полную высоту и установлен на защелку 8. В этом положении маятник представляет боль-



шую опасность для работающих, так как при случайном освобождении защелки может причинить тяжелые увечья.

5. Поднимите маятник до высшего положения  $H$ , закрепите его защёлкой 8 и по шкале определите угол подъема  $\alpha$ . Установите стрелку шкалы 6 (см. рис. 10) в нулевое положение и плавно, освободив защелку, отпустите маятник. При ударе маятника произойдет разрушение образца. После разрушения образца маятник, отклоняясь в обратном направлении, поднимется на высоту  $h$  и отклонится от вертикальных стоек на угол  $\beta$ . По шкале определите угол отклонения  $\beta$ . Если образец не сломался, что может быть в случае недостаточного запаса энергии копра или в случае очень вязкого материала, то в протоколе испытания отмечается «Не сломался». Для излома другого образца увеличивается запас энергии маятника поднятием его на большую высоту.
6. Рассчитайте работу разрушения  $A_n$ , затраченную на разрушение образца материала по формуле:

$$A_n = G \cdot L \cdot (\cos\beta - \cos\alpha)$$

или

$$A_n = G \cdot (H - h),$$

если в копре имеется подъемная рама.

7. Рассчитайте ударную вязкость  $a_n$  по формуле:

$$a_n = A_n / F_0,$$

где  $F_0$  – площадь поперечного сечения образца в месте надреза.

Размерность ударной вязкости кгс/см<sup>2</sup> (Дж/м<sup>2</sup>).

8. Данные измерений и результаты испытаний оформите в виде таблицы:

Материал	Размеры образца	Площадь образца $F_0, м^2$	$\alpha$ – угол подъема маятника	$\beta$ – угол отклонения	$A_n,$ кгс·см	$a_n,$ Дж

Сравните ударную вязкость испытуемых образцов и сделайте выводы.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. На каких приборах определяется ударная вязкость?
2. Опишите устройство маятникового копра.
3. Что называется ударной вязкостью? В каких единицах она измеряется?
4. Назовите виды концентраторов напряжений в образцах. Как они обозначаются?
5. Укажите, где на практике используется свойство металлов «ударная вязкость».
6. В каких случаях проводятся испытания на ударную вязкость?
7. Какие существуют методы определения работы удара?
8. Какие факторы влияют на величину ударной удельной вязкости?
9. О каких свойствах материала судят по величине ударной удельной вязкости?

10. Как определить энергию, запасенную маятником в самом верхнем положении?
11. Как изменится удельная ударная вязкость с изменением температуры?
12. Как влияет на ударную вязкость содержание в металле углерода и фосфора?
13. Что понимают под температурным интервалом хрупкости?
14. В чем состоит принцип работы маятникового копра?

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Петрова, Л.Г. Механические свойства металлов: пластическая деформация и рекристаллизация: методич. пособие к мультимедийному учебному изданию / Л.Г. Петрова, О.В. Чудина, А.В. Остроух // МАДИ(ГТУ). – Москва, 2007. – 47 с. – URL: <https://lib.madi.ru/fel/fel1/fel07M023.pdf>.

2. Испытание на ударный изгиб («Impact Test»). – URL: <https://metall-expertiza.ru/articles/301429>.

3. Определение ударной вязкости и порога хладноломкости. – URL: <https://poisk-ru.ru/s29451t10.html>.

4. Испытания на ударную вязкость: метод. указ. по выполн. лаб. работы по курсу «Механические и физические свойства материалов» у студентов направления 150600 – Материаловедение и технология новых материалов – Томск: Изд. ТПУ, 2009. – 11 с.

5. Ударная вязкость чугуна. – URL: <https://fccland.ru/svoystva-chuguna/7588-udarnaya-vyazkost-chuguna.html>.

6. Белевитин, В.А. Материаловедение: свойства металлов и сплавов: учеб. пособие / В.А. Белевитин. – Челябинск: Изд-во Челяб. гос. пед. ун-та, 2012. – 236 с. – ISBN 978-5-85716-917-9.

7. Белевитин, В.А. Упрочнение и восстановление деталей машин: справоч. пособие / В.А. Белевитин, А.В. Суворов. – Челябинск: Изд-во Челяб. гос. пед. ун-та, 2015. – 251 с.: ил. – ISBN 978-5-906777-38-6.

*Учебное издание*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДАРНОЙ ВЯЗКОСТИ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ**

Методические рекомендации

***Составитель Владимир Анатольевич Белевитин***

Работа рекомендована РИС ЮУрГГПУ

Протокол № 26, 2022 г.

Редактор Е.М. Сапегина

Компьютерная верстка В.А. Белевитин

Издательство ЮУрГГПУ

454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 69

Подписано в печать 13.09.2022 г.

Формат 60x841/16

Объем 1 уч.-изд. л. – 2,1 усл.п.л.

Тираж 100 экз.      Заказ №

Отпечатано с готового оригинал-макета

в типографии ЮУрГГПУ

454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 69

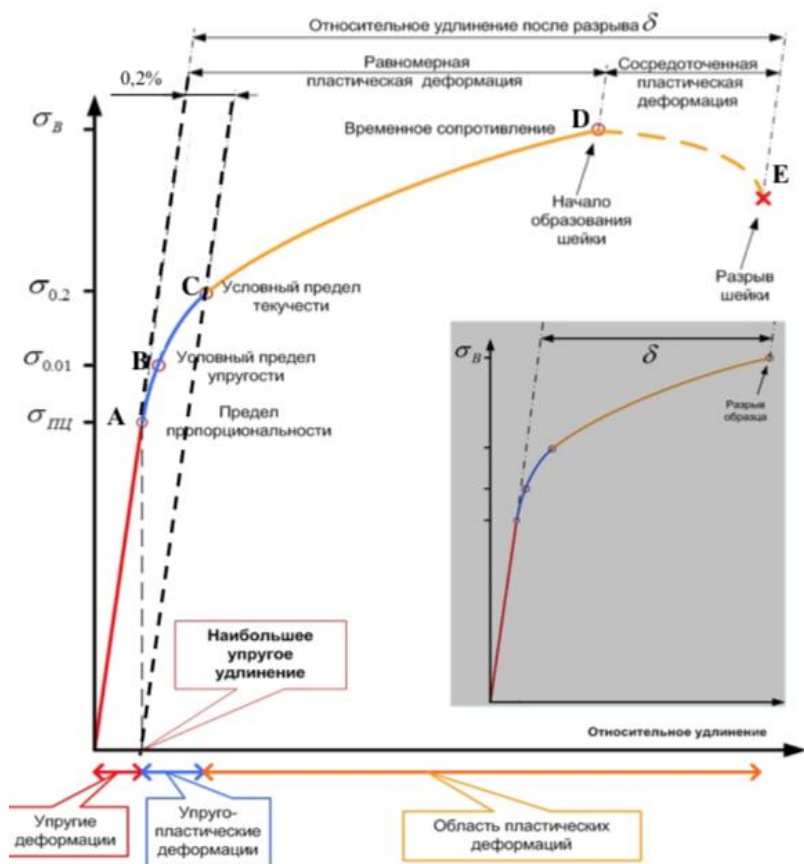


Рис.1. Диаграмма растяжения  
 Основной рисунок – растяжение с образованием шейки,  
 на вставке – растяжение без образования шейки

<https://m5kf.ru/upload/files/a080ca6c36.pdf>

Поступательное развитие экономики невозможно без проведения всесторонних научных исследований.

*Учебное издание*

## **ИЗМЕРЕНИЕ ТВЁРДОСТИ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ**

Методические рекомендации  
*Составитель Владимир Анатольевич Белевитин*

ISBN 978-5-907611-31-3

Работа рекомендована РИС ЮУрГГПУ  
Протокол № 25, 2022 г.

Редактор Л.Н. Корнилова  
Компьютерная верстка В.А. Белевитин

Издательство ЮУрГГПУ  
454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 69

Подписано в печать 07.04.2022 г.  
Формат 60x841/16  
Объем 0,9 уч.-изд. л. – 1,9 усл.п.л.  
Тираж 100 экз.      Заказ №

Отпечатано с готового оригинал-макета

в типографии ЮУрГГПУ  
454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 69

