

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«КАЗАНСКИЙ (ПРИВОЛЖСКИЙ) ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Набережночелнинский институт КФУ  
Кафедра машиностроения

**ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

раздел: Физические основы пластической деформации

Набережные Челны, 2018

Технология конструкционных материалов. Лабораторный практикум (раздел: физические основы пластической деформации) для бакалавров Автомобильного отделения по направлению 15.03.01 «Машиностроение» / Составители: *Андреев А.П., Валиев А.М., Бадриев А.И.*

Лабораторный практикум предназначен для студентов, выполняющих лабораторные работы по курсу «Технология конструкционных материалов». Приводится описание порядка выполнения лабораторных работ, методические указания, краткие теоретические положения и контрольные вопросы.

Работа подготовлена на кафедре «Машиностроение» и предназначена для студентов Высшей инженерной школы.

Рецензент: к.т.н., доцент *Харисов Л.Р.*

## Содержание

<b>Лабораторная работа №1 «ИСПЫТАНИЕ ЛИСТОВОГО МЕТАЛЛА НА РАСТЯЖЕНИЕ»</b> .....	4
1 ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ .....	4
2 ИСПЫТАНИЯ НА СТАТИЧЕСКОЕ РАСТЯЖЕНИЕ .....	7
3 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ .....	11
4 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА.....	12
5 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.....	12
5 ЛИТЕРАТУРА .....	13
<b>Лабораторная работа №2 «ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ НА ПЛАСТИЧНОСТЬ»</b> .....	14
1. ТЕОРЕТИЧЕСАЯ ЧАСТЬ .....	14
2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ .....	17
3 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ .....	19
4 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА.....	21
5 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.....	21
6 ЛИТЕРАТУРА .....	21

## Лабораторная работа №1 «ИСПЫТАНИЕ ЛИСТОВОГО МЕТАЛЛА НА РАСТЯЖЕНИЕ»

**Цель работы:** ознакомление с методикой определения прочностных и пластических характеристик листового металла и приобретение студентами соответствующих навыков в работе с испытательным оборудованием и приборами.

**Оборудование и инструмент:** для статических испытаний образцов на растяжение используется гидравлическая разрывная машина Р20, имеющая следующие основные параметры:

- Предельная нагрузка – 200 кН
- Число диапазонов нагружения – 3

Разрывная машина снабжена диаграммным аппаратом для записи диаграммы «нагрузка-деформация» и автоматическим прерывателем действия для регистрации максимального уровня нагрузки.

### *1 ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ*

**Деформацией** называется изменение размеров и формы тела под действием внешних сил или в результате физико-механических процессов, протекающих в самом теле (фазовых превращений, усадки и т.п.). Деформация может быть **упругой**, исчезающей после снятия нагрузки, и **пластической**, остающейся после снятия нагрузки. При упругой деформации атомы смещаются от положений равновесия на величину, меньшую межатомных расстояний, и после устранения внешней нагрузки под действием сил межатомного взаимодействия возвращаются в исходное положение. В результате тело приобретает первоначальную форму и размеры. При увеличении нагрузки упругая деформация переходит в пластическую, при этом атомы перемещаются на значительные расстояния от исходных положений равновесия, и форма, и размеры тела необратимо изменяются.

Пластическая деформация в кристаллическом теле осуществляется путем сдвига одной его части относительно другой под действием касательных напряжений, когда их значение превышает критическую величину ( $\tau_k$ ).

**Напряжение** – это нагрузка, приходящаяся на единицу площади поперечного сечения тела.

Основным видом сдвига в металлах и сплавах является скольжение. В идеальном (бездефектном) кристалле при скольжении должно происходить одновременное смещение всех атомов, находящихся в плоскости сдвига (рис. 1, а, б). Такой синхронный сдвиг одного ряда атомов относительно другого потребовал бы напряжений, в сотни и тысячи раз превышающие те, при которых в действительности протекает деформация. Это объясняется тем, что в реальных кристаллах имеются дефекты кристаллического строения – **дислокации**, облегчающие процесс скольжения. Краевая дислокация (обозначается значком  $\perp$ ), представляет собой край "лишней" полуплоскости в кристаллической решетке (рис. 1, в, г).

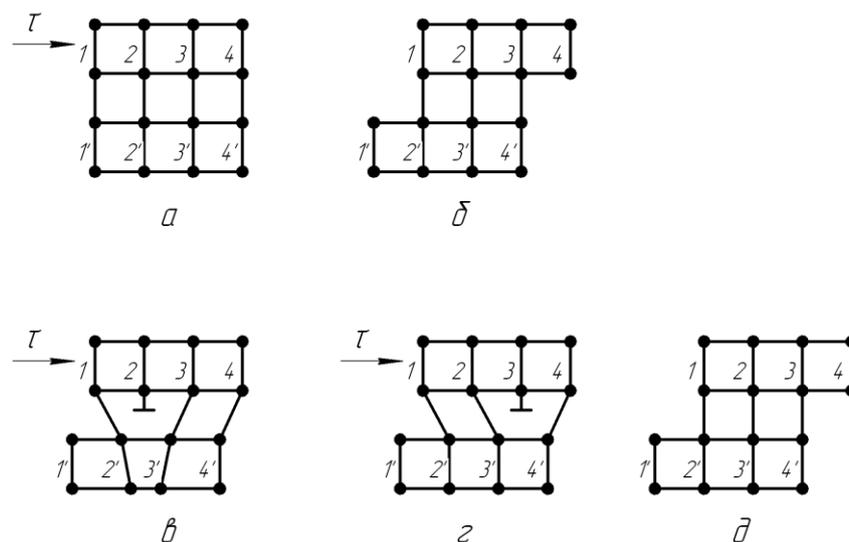


Рис. 1. Схема пластической деформации в идеальном (а,б) и реальном (в-д) кристаллах

Скольжение в реальных кристаллах осуществляется путем последовательного перемещения дислокаций. Под действием напряжения дислокация как по эстафете передается от одной атомной плоскости к другой (рис. 1, в, г), пока не выйдет на поверхность кристалла. В результате одна часть кристалла сдвинется относительно другой (рис. 1, д). Описанный процесс происходит при значительно меньшем напряжении, чем одновременный сдвиг всех атомов.

Величина пластической деформации не безгранична, при определённых ее значениях происходит разрушение металла. Уже с первых актов пластической деформации, наряду с имеющимися возникают новые дефекты кристаллического строения (дислокации, вакансии и т.д.). При дальнейшей деформации происходит скопление однозначных дислокаций и их слияние, приводящее к образованию зародышевых микротрещин и микропор, которые в свою очередь приводят к возникновению магистральной макротрещины. Ее рост вызывает окончательное разрушение металла.

Способность металлов пластически деформироваться без макро-разрушений называется пластичностью. **Пластичность** – одна из важнейших характеристик металлов, которая определяет возможность получения изделий различными способами обработки давлением и от которой в значительной степени зависит надежность изделий в процессе их эксплуатации.

Пластичность металлов и сплавов зависит от типа кристаллической решетки, химического состава, структуры, температуры, скорости и степени деформации, схемы напряжённого состояния и других факторов. Наиболее пластичны металлы с ГЦК-решеткой (Al, Cu, Pb, Ni, Au, Ag, Fe<sub>γ</sub> и др.) далее следуют металлы с ОЦК-решеткой (Fe<sub>α</sub>, Cr, W, Mo и др.), наименее пластичны металлы с ГПУ-решеткой (Zr, Hf и др.). Чистые металлы имеют более высокую пластичность, чем их сплавы. С увеличением содержания углерода в стали пластичность понижается. Пластичность мелкозернистой структуры выше, чем крупнозернистой. С повышением температуры пластичность возрастает. Зависимость пластичности от степени и скорости деформации более сложная

(*скорость деформации* – это изменение степени деформации в единицу времени). Увеличение скорости деформаций до некоторого предела снижает пластичность, а при дальнейшем увеличении скорости – повышает её. С увеличением степени холодной деформации пластичность понижается. Это объясняется тем, что в металле начинаются *процессы наклепа* – упрочнения из-за повышения плотности дислокаций от  $10^6$  до  $10^{12}$  см<sup>-2</sup>, а *разупрочняющие процессы* – возврат и рекристаллизация – проходить не успевают.

Наибольшее влияние на предельную пластичность (предельную деформацию) оказывает схема напряжённого состояния. *Предельная деформация* – это величина пластической деформации, которую можно достичь без разрушения. Наибольшая предельная деформация достигается при отсутствии растягивающих напряжений и увеличении сжимающих, когда реализуется схема равномерного всестороннего сжатия. Такая схема наблюдается, например, при объемной штамповке, прессовании, прокатке. Схемы напряженного состояния в различных процессах и операциях обработки металлов давлением различны, поэтому для каждой технологической операции, металла и температурно-скоростных условий предельная пластичность может быть разной.

Для того чтобы иметь полную картину работы растянутого или сжатого элемента, необходимо иметь возможность вычислить, как будут меняться его размеры. Соответствующие законы можно получить лишь на основании опытов с растяжением и сжатием образцов изучаемого материала; эти же опыты дают возможность изучать и прочность материалов, определять его временное сопротивление разрыву и другие характеристики.

На основании опытных наблюдений, были сделаны заключения, что пока нагрузка на образец не достигла известного предела, удлинение прямо пропорционально растягивающей силе  $P$ , длине образца  $l$  и обратно пропорционально площади поперечного сечения  $F$ . Обозначая через  $\Delta l$  приращение длины образца от силы  $P$ , можем написать формулу, связывающую между собой эти опытные данные:

$$\Delta l = \frac{P \cdot l}{E \cdot F}, \text{ где } E \text{ – коэффициент пропорциональности, различный для}$$

разных материалов. Величина  $\Delta l$  называется абсолютным удлинением стержня от силы  $P$ , а сама формула носит название *закона Гука*. Данную зависимость можно представить в ином виде. Разделив обе части этой формулы на первоначальную длину стержня  $l$ :

$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{P}{E \cdot F}, \text{ где } \frac{\Delta l}{l} \text{ – отношение абсолютного удлинения к первоначальной}$$

длине – называется *относительным удлинением* и обозначается буквой  $\varepsilon$ .

Относительное удлинение является отвлечённой величиной, как отношение двух длин  $\Delta l$  и  $l$ , и по своему числовому значению равно удлинению каждой единицы длины стержня. Подставив в предыдущую формулу вместо  $\frac{\Delta l}{l}$  величину  $\varepsilon$ , а вместо  $\frac{P}{F}$  – величину нормального

напряжения  $\sigma$ , получаем иное выражение закона Гука:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} \text{ или } \sigma = \varepsilon \cdot E$$

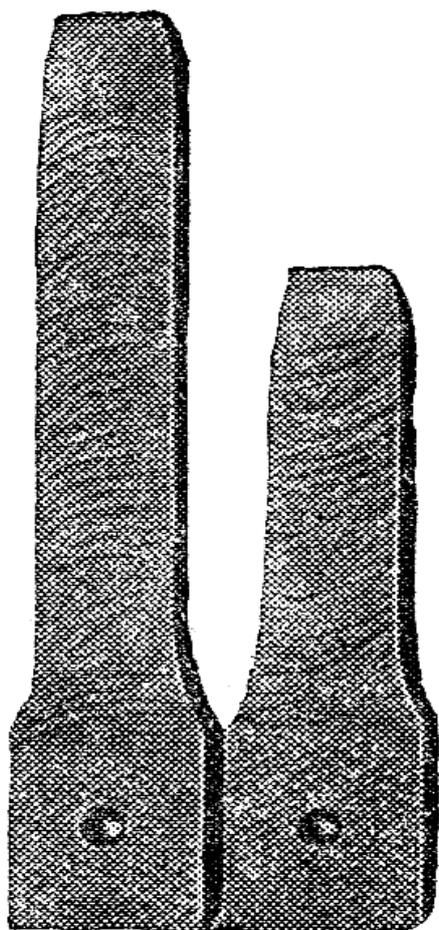


Рис. 2. Линии Чернова

Таким образом, нормальное напряжение при растяжении или сжатии прямо пропорционально относительному удлинению или укорочению стержня.

Коэффициент пропорциональности  $E$ , связывающий нормальное напряжение и относительное удлинение, называется **модулем упругости** при растяжении материала. Чем больше эта величина, тем менее растягивается стержень при прочих равных условиях (длине, площади, силе  $P$ ). Таким образом, физически модуль  $E$  характеризует **сопротивляемость** материала **упругой** деформации при растяжении.

По результатам простого растяжения и сжатия при обычной температуре материалы делятся на **хрупкие** и **пластичные**. Хрупкие материалы разрушаются при очень малых остаточных деформациях. У пластичных же материалов разрушение наступает лишь после значительной пластической деформации. К первому типу материалов относятся, например чугун, камень, бетон и др. к пластичным

материалам относятся малоуглеродистая сталь, медь и др.

Во время процесса растяжения пластичных материалов при его течении на поверхности образца появляется в более или менее резкой степени так называемые линии Чернова (рис. 2). Эти линии вызываются взаимными перемещениями частиц материала при наступлении значительных деформаций образца.

## 2 ИСПЫТАНИЯ НА СТАТИЧЕСКОЕ РАСТЯЖЕНИЕ

Для определения пластичности металлов и сплавов широко применяется стандартное испытание на растяжение по ГОСТ 1497-84 (рис. 3), в процессе которого образец деформируется плавно возрастающей нагрузкой до разрыва. При этом, образец удлиняется, а его поперечное сечение уменьшается.

Испытываемый образец классифицируется по ГОСТ 1497-84 как тип II (плоские образцы без головок) имеет следующий вид:

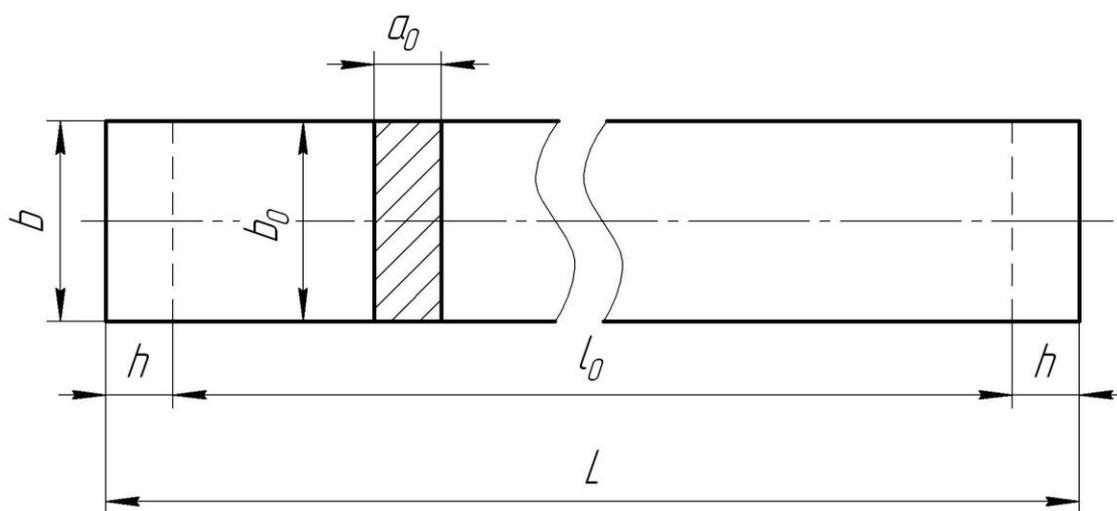


Рис. 3. Плоский образец для испытаний на разрыв

Примем следующие обозначения и соотношения:

$L$  – полная длина образца, мм

$b$  – ширина образца, мм

$h$  – длина образца для зажима в машине, мм

$l_0$  – начальная длина рабочей части, мм

$b_0$  – начальная ширина рабочей части, мм

$a_0$  – начальная толщина рабочей части, мм

$F_0$  – начальная площадь поперечного сечения рабочей части, мм<sup>2</sup>

$l_k$  – конечная длина рабочей части, мм

$b_k$  – конечная ширина рабочей части, мм

$a_k$  – конечная толщина рабочей части, мм

$F_k$  – площадь поперечного сечения образца в месте разрыва, мм<sup>2</sup>

Для испытания на растяжение между геометрическими размерами образца должно сохраняться следующая зависимость:

$$l_0 = 1,13 \cdot \sqrt{F_0}; \quad l = l_0 + 2 \cdot \sqrt{F_0}; \quad L = 2 \cdot h + l_0$$

Испытание на растяжение проводится на разрывной машине Р20 (рис. 4). Для начала испытания включают двигатель насосной станции разрывной машины Р20.

Образец 1 зажимают в захватах 2 (рис. 5) и включают диаграммный аппарат.



Рис. 4. Разрывная машина Р-20

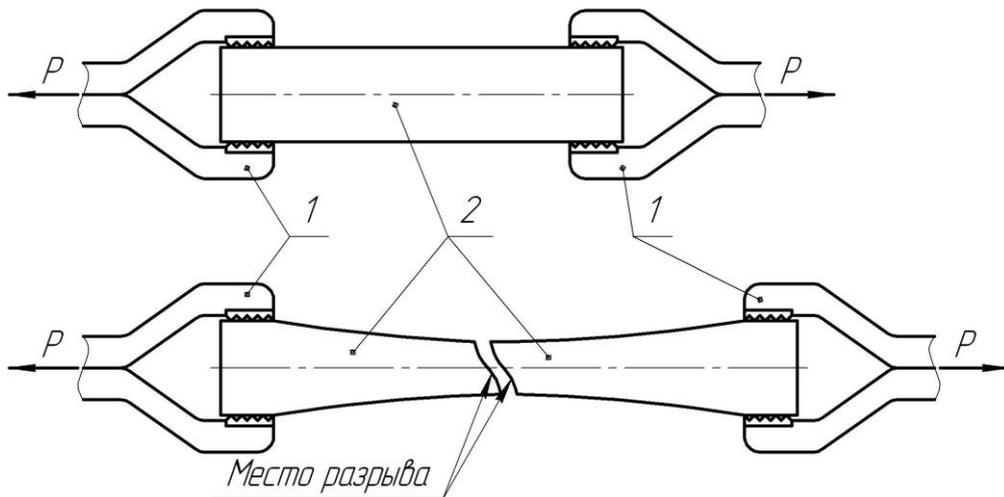


Рис. 5. Плоский образец до и после испытания на разрыв:  
1 – захваты; 2 – листовый материал

Образец растягивают до разрушения, после этого снимают диаграмму « $P - \Delta l$ », вид которой для наиболее общего случая представлен на рис. 6

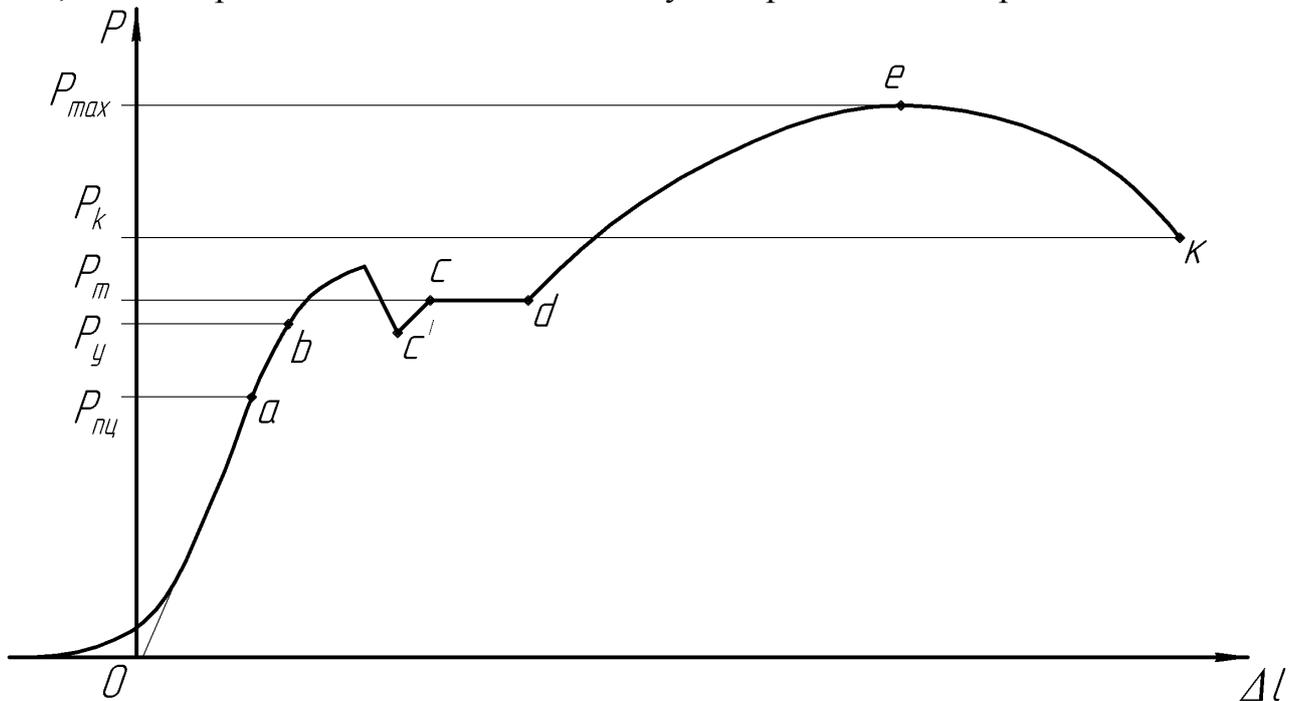


Рис. 6. Диаграмма растяжения « $P - \Delta l$ »

На отрезке 0–а удлинение образца возрастает пропорционально прилагаемой нагрузке. Условное напряжение, отвечающие началу отклонения от линейной пропорциональной зависимости между напряжением и деформацией, называется **пределом пропорциональности** и равно отношению нагрузки к начальной площади поперечного сечения образца  $F_0$ :

$$\sigma_{пц} = P_{пц} / F_0, \text{ Н / мм}^2 \quad (1)$$

После снятия нагрузки, не превышающей предела пропорциональности, растянутый образец сокращается практически до первоначальной длины, т.е.

соотношение между напряжением  $\sigma_{ny}$  и удлинением  $\Delta l$  подчиняется закону Гука.

При приложении нагрузки, близкой или большей  $P_{ny}$ , в металле появляется незначительная пластическая деформация; в случае снятия нагрузки образец не возвращается полностью в исходное состояние, а получает небольшую пластическую деформацию. Условное напряжение, вызывающее появление остаточной деформации после нагружения образца, называется **пределом упругости** металла (рис. 6, точка b).

Дальнейшее увеличение нагрузки вызывает увеличение пластической деформации, и на кривой растяжения наблюдается криволинейный участок, называемый «**зубом текучести**». Напряжение, соответствующее точке С, точка  $C^1$  – **нижнему пределу текучести**. Горизонтальный участок диаграммы показывает, что образец удлиняется практически без возрастания нагрузки (рис. 6, точка d). Наименьшее напряжение, при котором продолжается деформация образца без заметного увеличения нагрузки, называется **пределом текучести** (физическим):

$$\sigma_m = P_m / F_0, \text{ Н / мм}^2 \quad (2)$$

$P_m$  – растягивающая нагрузка, соответствующая пределу текучести, Н.

Ряд металлов на своей диаграмме растяжения не обнаруживает такого горизонтального участка. Поэтому за **условный предел текучести** принимают то напряжение, которое вызывает в образце остаточное удлинение, равное 0,2% начальной длины образца:  $\sigma_{0,2} = P_{0,2} / F_0, \text{ Н / мм}^2$ .

Увеличение нагрузки выше предела текучести вызывает пластическую деформацию во всем объеме металла и его упрочнение. Поэтому нагрузка, необходимая для растяжения образца, постепенно возрастает, достигая наибольшего значения в точке  $e$ . Напряжение, соответствующее наибольшей нагрузке  $P_{max}$  и предшествующее разрушению образца, называется **временным сопротивлением (пределом прочности)** при растяжении:

$$\sigma_B = P_{max} / F_0, \text{ Н / мм}^2 \quad (3)$$

Истинное сопротивление разрыву вычисляют по формуле:

$$S_k = P_k / F_k, \text{ Н / мм}^2 \quad (4)$$

$P_k$  – нагрузка в момент разрыва, Н;

$F_k$  – произведение ширины образца в месте разрыва на наименьшую толщину, мм<sup>2</sup>

Пластичность характеризуется:

**относительным удлинением:** 
$$\delta = \frac{l_k - l_0}{l_0} \times 100\% \quad (5)$$

**относительным сужением:** 
$$\psi = \frac{F_0 - F_k}{F_0} \times 100\% \quad (6)$$

где  $l_0$  и  $l_k$  – начальная и конечная длина образца;

$F_0$  – начальная площадь поперечного сечения образца;

$F_k$  – площадь поперечного сечения в месте разрыва.

### 3 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Произвести замеры начальных размеров образца (рис. 3):

- начальную длину рабочей части образца с точностью до 0,1 мм;
- начальную ширину и толщину образца с точностью до 0,01 мм;
- вычислить площадь поперечного сечения  $F_0$  с округлением до 0,1 мм<sup>2</sup>.

Результаты занести в табл. 1

Таблица 1

№ п.п.	$b_0$ , мм	$l_0$ , мм	$b_0$ , мм	$a_0$ , мм	$F_0$ , мм <sup>2</sup>

2. Включить двигатель насосной установки, зажать образец в захватах, включить диаграммный аппарат. Вращением штурвала нагружения по часовой стрелке приложить нагрузку. При проведении испытания должны соблюдаться следующие условия:

- надежное центрирование образца в захватах;
- плавность нагружения.

Зафиксировать наибольшее значение нагрузки и занести в табл. 3

3. После разрыва образец извлечь из захватов и снять полученную диаграмму «Р – Δl». Полученную диаграмму вставить в отчет.

4. Измерить конечные размеры образца после разрыва:

- конечную длину рабочей части, плотно сложив разрушенные части, с точность до 0,1 мм;
- наибольшую ширину и наименьшую толщину образца в месте разрыва образца с точностью до 0,1 мм;

Результаты занести в табл. 2

Таблица 2

№ п.п.	$l_k$ , мм	$b_k$ , мм	$a_k$ , мм	$F_k$ , мм <sup>2</sup>

5. Обработать экспериментальные данные, произвести расчеты по формулам 1 – 6, а результаты занести в табл. 3

Таблица 3

№ п.п.	$P_{нц}, Н$	$P_m, Н$	$P_{max}, Н$	$P_k, Н$	$\sigma_{нц},$ Н/мм <sup>2</sup>	$\sigma_m,$ Н/мм <sup>2</sup>	$\sigma_B,$ Н/мм <sup>2</sup>	$S_k,$ Н/мм <sup>2</sup>	$\delta, \%$	$\psi, \%$

6. Сравнить полученные значения  $\sigma_m$ ,  $\sigma_B$ ,  $\delta$ , и  $\psi$  с данными из Таблицы 4 и сделать вывод о их соответствии ГОСТ 1050-90.

Таблица 4 Сталь углеродистая качественная конструкционная по ГОСТ 1050-90

Марка стали	Механические свойства после нормализации, не менее			
	$\sigma_m, Н/мм^2$	$\sigma_B, Н/мм^2$	$\delta, \%$	$\psi, \%$
08кп, пс, 08	196	324	33	60
10кп, пс, 10	206	321	31	55
20кп, пс, 20	245	412	25	55
25	274	451	23	50
35	314	529	20	45
45	353	598	16	40
55	382	647	13	35

#### 4 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

О проведенной работе представляется письменный отчет, который должен включать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание методики испытания листового металла на растяжение;
5. Схемы испытаний на растяжение и графический материал, выполненный на миллиметровой бумаге: диаграмма « $P-\Delta l$ » испытуемого образца;
6. Экспериментальные данные в виде таблиц и расчеты;
7. Вывод по полученным результатам.

#### 5 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. С какой целью проводится испытание на одноосное растяжение?
2. Какие механические характеристики металла можно определить при испытаниях на растяжение?
3. Какие образцы используются при растяжении и чем регламентируются их размеры?
4. На какой машине проводятся испытания? Опишите её конструкцию.
5. Для чего нужна диаграмма растяжения материала, и в каких координатах она строится?
6. Какие характерные участки можно выделить на индикаторной

- диаграмме растяжения?
7. Для какого участка диаграммы справедлив закон Гука?
  8. Что называется пределом пропорциональности?
  9. Что называется пределом упругости?
  10. Что называется пределом текучести?
  11. Что называется площадкой текучести и при испытании каких материалов она бывает на диаграмме растяжения?
  12. Что называется пределом прочности?
  13. Объясните, почему образец разрушается при нагрузке меньшей, чем максимальная.
  14. По каким аналитическим зависимостям рассчитываются характеристики прочности и пластичности материала при растяжении?
  15. Как изменяется схема напряженного состояния при растяжении плоских образцов?
  16. В чем заключается различие между истинным и условным напряжениями?
  17. Как рассчитать истинную, относительную и абсолютную деформацию при растяжении?
  18. Как рассчитать полную работу растяжения образца?
  19. Что относят к характеристикам прочности?
  20. Для каких материалов определяют условный предел текучести? Какова методика его расчета?

#### *5 ЛИТЕРАТУРА*

1. Полухин П.И., Горелик С.С., Воронцов В.К. Физические основы пластической деформации: Учебное пособие для студентов вузов. – М.:Металлургия, 1982.
2. Арзамасова Б.Н. Материаловедение. – 2-е изд., испр. и доп. – М: Машиностроение, 1986.
3. Полухин П. И. Технология металлов и сварка: Учеб. пособие для студентов вузов. – М.: Высшая школа, 1977.
4. Богатев А.А., Мижирецкий О.И., Смирнов С.В. Ресурс пластичности металлов при обработке давлением. – М.: Metallurgy, 1984.
5. Дальской А.М. Технология конструкционных материалов. – М.: Машиностроение, 1985.
6. Попов Е.А. Основы теории листовой штамповки. – М.: Машиностроение, 1968.
7. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке. – Л.: Машиностроение, 1979.

## Лабораторная работа №2 «ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ НА ПЛАСТИЧНОСТЬ»

**Цель работы:** ознакомление с физическими основами пластической деформации металлов и сплавов, характеристиками пластичности и освоение методик определения технологической пластичности испытаниями на перегиб и выдавливание.

**Оборудование и инструмент:** прибор для испытания на перегиб НГ-2, машина для испытания на выдавливание МТЛ-10Г, штангенциркуль.

**Образцы:** проволока и листовой материал.

### 1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Стандартные показатели пластичности  $\delta$  и  $\psi$  не учитывают реальные условия (схему напряженного состояния, температурно-скоростные факторы), при которых происходит пластическая деформация при различных видах и операциях обработки давлением. Для большей достоверности при оценке пластичности применяют технологические пробы, моделирующие условия деформации при конкретных процессах обработки давлением. Рассмотрим некоторые из них.

**1.1 Проба на осадку.** Применяется для определения способности металла в холодном состоянии принимать заданную по размерам и форме деформацию сжатия.

Испытаниям подвергают образцы, вырезанные из прутков, предназначенных для изготовления болтов, заклепок и т.п. Испытания проводят до появления трещины на боковой поверхности. Показатель пластичности

(степень осадки)  $\varepsilon = \frac{\Delta h}{h_0}$ .

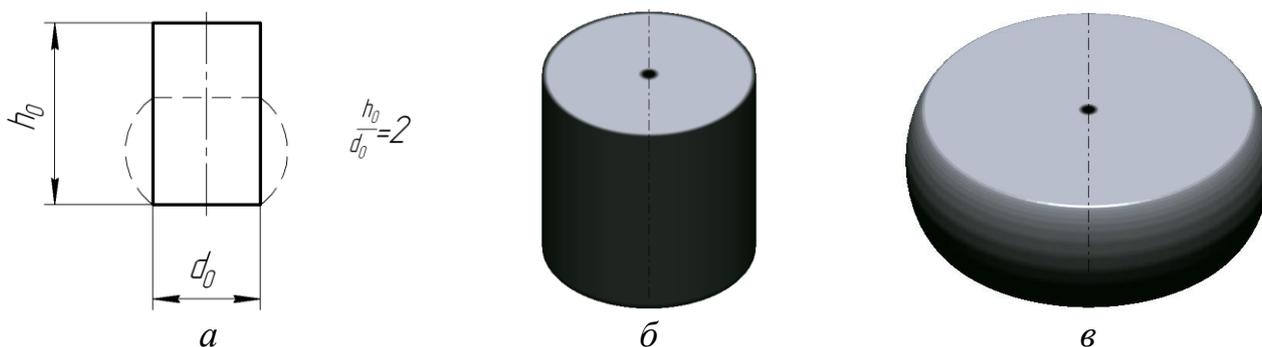


Рис. 1. Проба на осадку:

*а* – схема испытания; *б* – образец до испытания; *в* – образец после испытания

**1.2 Проба на расплющивание по ГОСТ 8818-73.** Испытание заключается в расплющивании образца вдоль его оси в холодном или горячем состоянии до образования головки заклепки или расплющивании головки заклепки.

Изделия считаются годными, если на поверхности образцов, подвергнутых испытанию, не наблюдается трещин и надрывов.

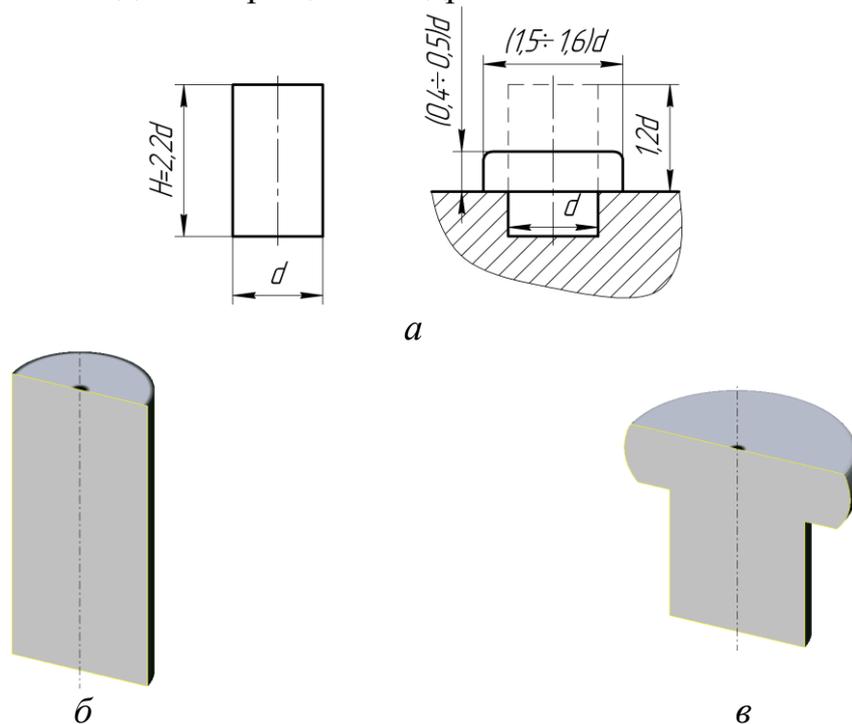


Рис. 2. Проба на расплющивание:  
а – схема испытания; б – образец до испытания; в – образец после испытания

### 1.3 Испытание на выдавливание по ГОСТ 10510-80 (Проба Эриксона).

Применяется для определения способности листового металла подвергаться холодной штамповке. Испытания проводят до появления 1-ой трещины в металле. Показатель пластичности – глубина лунки.

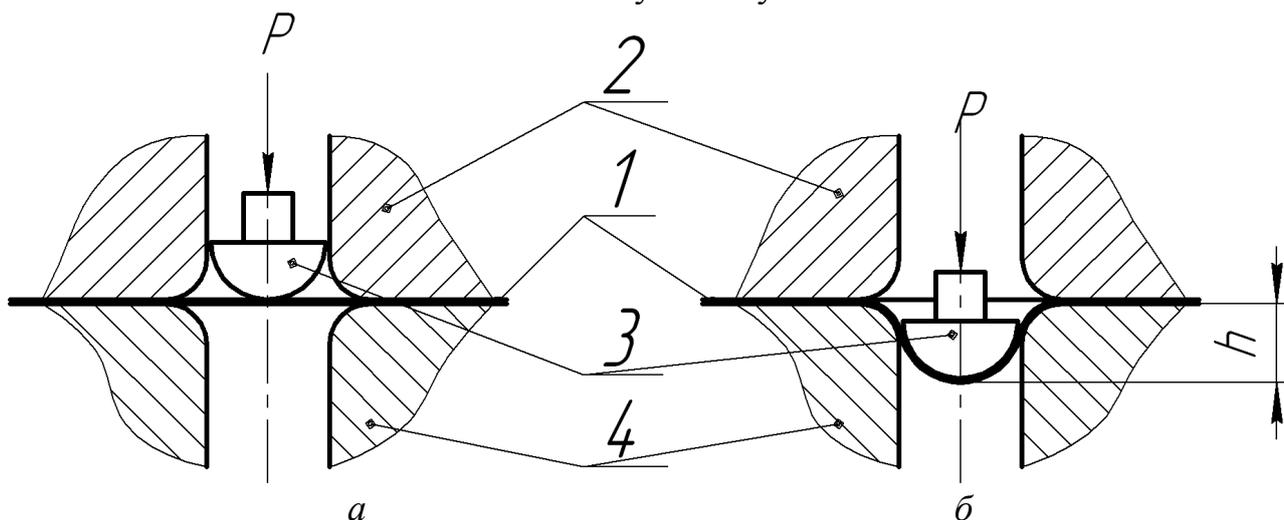


Рис. 3. Схема испытания на выдавливание:  
1 – образец; 2 – матрица; 3 – прижимное кольцо; 4 - пуансон

**1.4 Проба на изгиб.** Служит для определения способности листового металла принимать заданный по размерам и форме изгиб. Для осуществления пробы на изгиб применяют прессы или тиски.

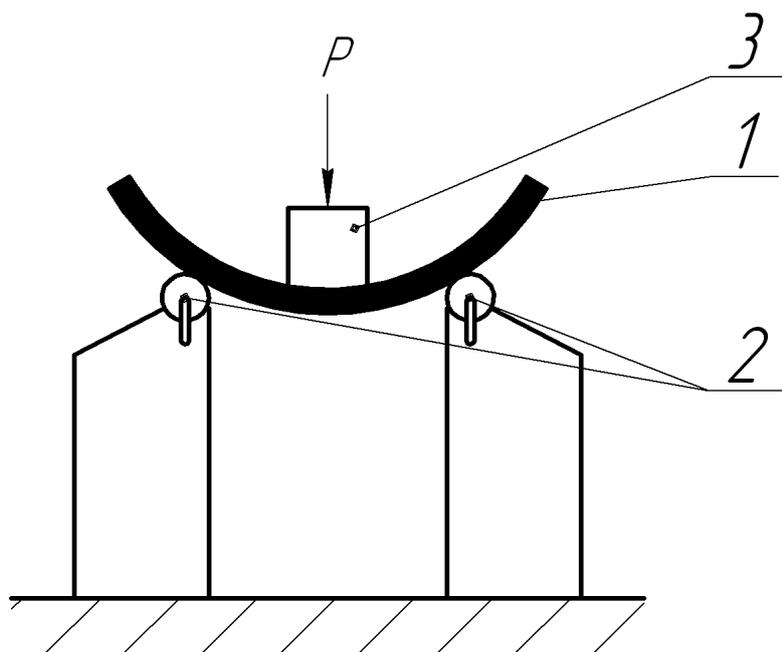


Рис. 4. Проба на изгиб:  
1 – образец; 2 – валки; 3 – пуансон

### 1.5 Испытание на перегиб листового металла и проволоки.

Применяется для определения способности металла выдерживать повторный загиб и разгиб. Скорость испытания – 60 перегибов в минуту до разрушения образца.

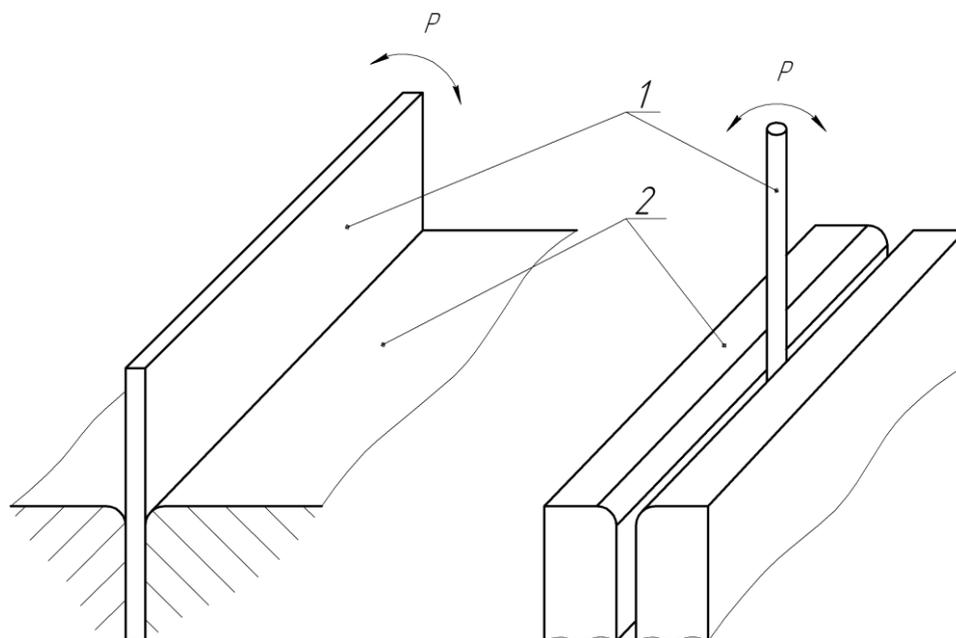


Рис. 5. Схема испытания на перегиб:  
1 – образец; 2 – валки

Технологические пробы позволяют отобрать материал, наиболее полно отвечающий заданным технологическим условиям обработки. Если после испытания на поверхности образца отсутствуют внешние дефекты в виде трещин, надрывов, расслоений и т.д., то материал считается выдержавшим испытание. Показатель пластичности – число перегибов до разрушения.

## 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

### 2.1 Методика испытания проволоки на перегиб

Испытание на перегиб проводится на приборе НГ-2 (рис. 6), представляющем собой небольшие настольные тиски. Дополнительная информация о приборе представлена в Приложении 1.

Образец 1 в виде проволоки или ленты длиной 100-150 мм зажимается с одного конца в тисках 2 между сменными губками 3 с валиками 4, а с другого конца – натяжным устройством 5. С помощью рычага 6 образец изгибают вправо и влево на угол  $90^\circ$  со скоростью около 60 перегибов в минуту. Испытание проводят до разрушения образца.

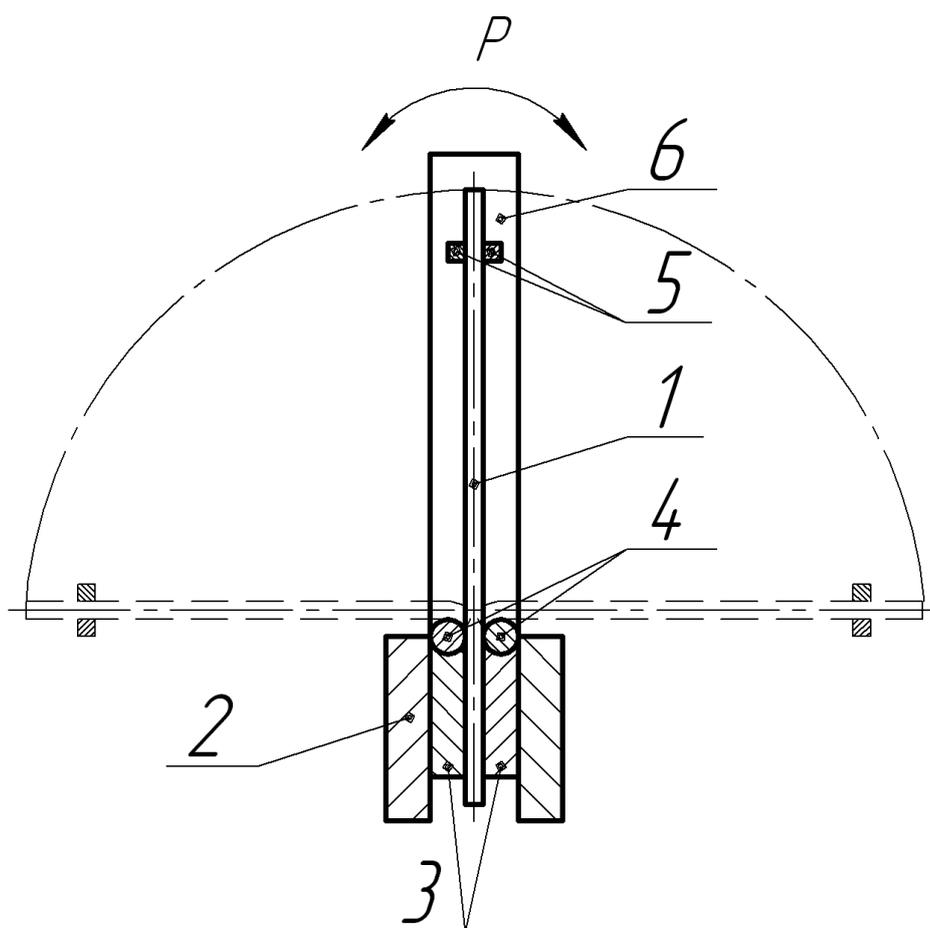


Рис. 6. Схема прибора НГ-2:

1 – образец; 2 – тиски; 3 – сменные губки;  
4 – валики; 5 – натяжное устройство; 6 – изгибающий рычаг

Показателем пластичности металла является число перегибов образца до разрушения, которое отсчитывается по счетчику.

Изменение напряжённого состояния достигается за счет испытания образцов равных размеров или применения сменных губок с валиками различного диаметра.

### 2.2 Методика испытания листового металла на выдавливание

Испытание листового металла на выдавливание проводится на машине

МТЛ-10Г, представляющем собой гидравлический пресс. Дополнительная информация о приборе представлена в Приложении 2.

Образец 1 укладывается на матрицу 2 и жестко закрепляется по фланцу прижимным кольцом 3, а затем выдавливается через отверстие матрицы сферическим пуансоном 4 (рис. 7). При этом на образце образуется лунка за счет утонения листа. Когда пластичность металла исчерпывается, наступает локализация деформации в наиболее "слабом" месте, в котором при дальнейшем внедрении пуансона происходит разрыв образца. Испытание проводится до момента появления на лунке трещины.

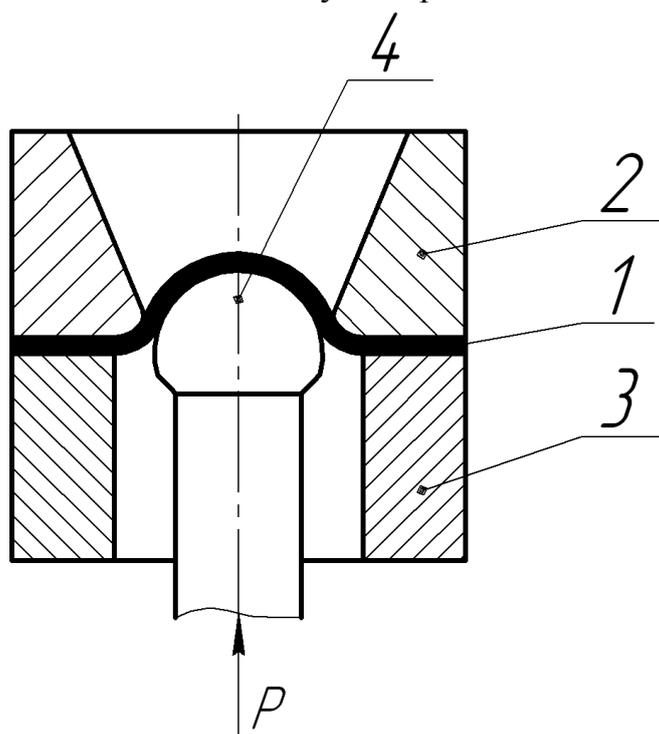


Рис. 7. Схема испытания на выдавливание:  
1 – образец; 2 – матрица; 3 – прижимное кольцо; 4 – пуансон

Характеристикой штампуемости металла является глубина лунки. По характеру разрушения образца и виду поверхности лунки можно судить о качестве металла. Разрыв образца по дуге окружности лунки (рис. 8, а) указывает на однородность структуры и свойств металла, т.е. на его изотропность, а разрыв по прямой линии (рис. 8, б) – на полосчатость микроструктуры и анизотропию свойств или наличие внутренних дефектов. Гладкая поверхность лунки является признаком мелкозернистой структуры металла, а шероховатая поверхность – крупнозернистой структуры.

*Изотропными телами* называются такие, в которых по трем (и по всем другим) взаимно перпендикулярным направлениям все свойства одинаковы.

*Анизотропными материалами* называются материалы, свойства которых в различных направлениях различны.

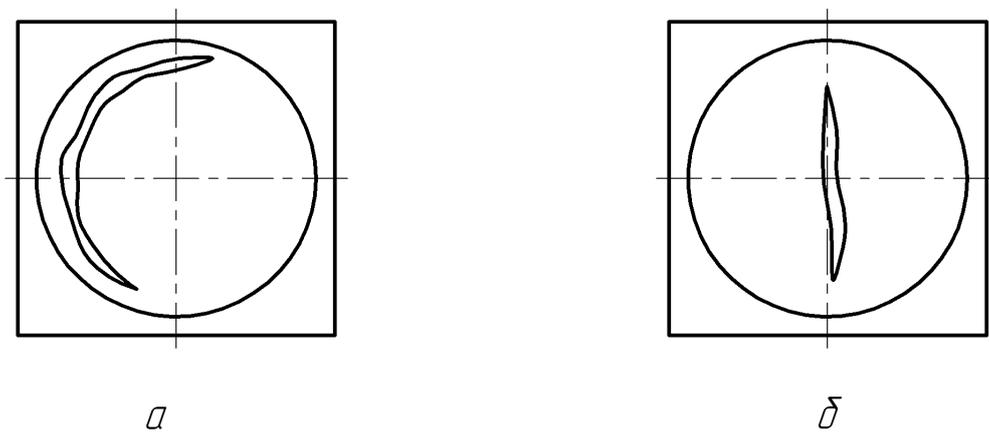


Рис. 8. Внешний вид образца после испытания на выдавливание

### 3 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Для пробы на перегиб берутся образцы из проволоки или ленты. В первом эксперименте на приборе НГ-2 испытывается до разрушения образцы одного и того же диаметра или толщины с использованием сменных губок с валиками различного диаметра, что позволяет менять напряженное состояние. В другом эксперименте при постоянном диаметре валиков испытываются образцы разного диаметра или толщины.

Полученные данные заносятся в табл. 1 и 2 и по ним строится графическая зависимость пластичности материала от условий деформации в координатах "число перегибов – диаметр валика" и "число перегибов – диаметр проволоки" (см. рис 9). На основании анализа экспериментальных данных делается вывод о влиянии исследованных факторов на пластичность металла.

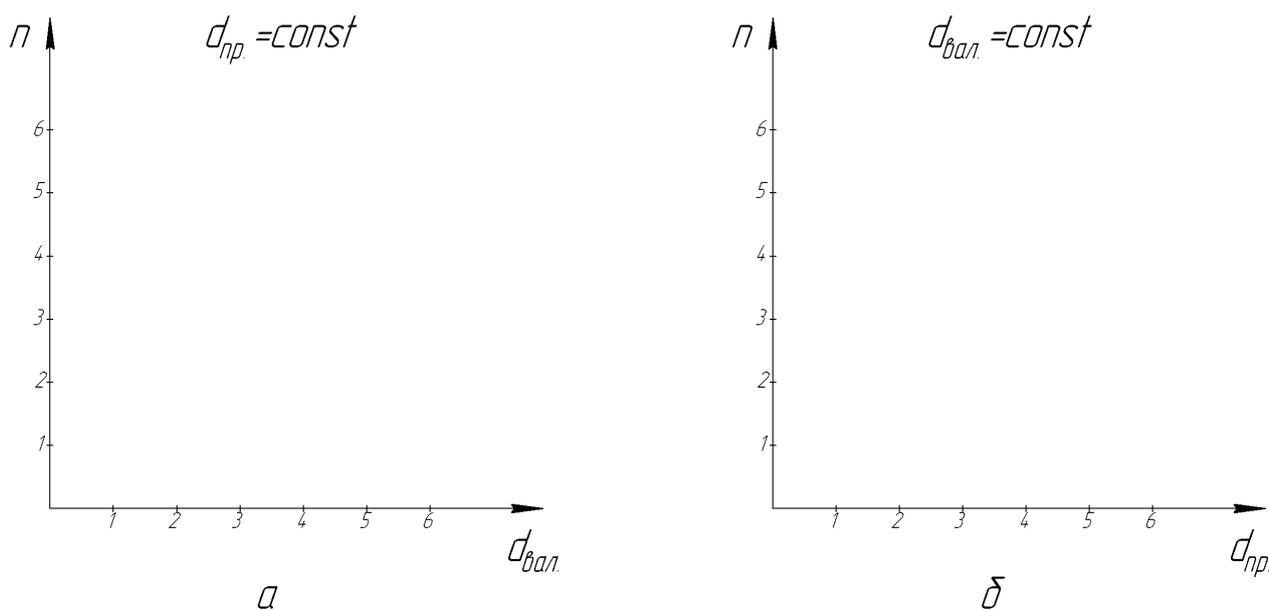


Рис. 9. Зависимость "число перегибов – диаметр валика" (а) и "число перегибов – диаметр проволоки"

Таблица 1

Образцы из проволоки $d_{пр.} =$ , мм		
№ п.п.	Диаметр валика $d_{вал.}$ , мм	Число перегибов, $n$
1.		
2.		
3.		

Таблица 2

Диаметр валика $d_{вал.} =$ , мм		
№ п.п.	Диаметр проволоки $d_{пр.}$ , мм	Число перегибов, $n$
1.		
2.		
3.		

2. Для испытания на выдавливание берутся несколько образцов из листовой стали разных марок и др. сплавов. Образцы должны иметь толщину в пределах 0,2-2 мм и ширину 15-90 мм. Длина образца должна обеспечивать вытяжку не менее трех лунок. Расстояние между центрами смежных лунок должно быть не менее 55 мм. После испытания замеряют глубину лунок, осматривают качество их поверхности и выявляют характер разрушения образца.

Полученные данные заносятся в табл. 3. Из анализа экспериментальных данных делается вывод о качестве металла и дается сравнительная оценка штампуемости стали разных марок.

Таблица 3

№ п.п.	Материал образца	Глубина лунки, мм			Результаты визуального осмотра
		1	2	3	
1.					
2.					
3.					
4.					

#### *4 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА*

О проведенной работе представляется письменный отчет формата А4, который должен включать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание методов оценки пластичности металлов;
5. Схемы испытаний на перегиб и выдавливание;
6. Экспериментальные данные в виде таблиц и графиков.
7. Вывод по полученным результатам.

#### *5 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ*

1. Что такое деформация и чем отличается пластическая деформация от упругой?
2. Как осуществляется пластическая деформация в металлах?
3. Как происходит разрушение металлов при деформации?
4. Что такое пластичность металлов?
5. От чего зависит пластичность металлов?
6. Какие стандартные показатели применяются для оценки пластичности?
7. Для чего нужны технологические пробы на пластичность?
8. Какие существуют технологические пробы для оценки пластичности?
9. Как определяет пластичность металла при испытаниях на перегиб и выдавливание?
10. Что свидетельствует о качестве металла при испытании на выдавливание?

#### *6 ЛИТЕРАТУРА*

1. Полухин П.И., Горелик С.С., Воронцов В.К. Физические основы пластической деформации: Учебное пособие для студентов вузов. – М.:Металлургия, 1982.
2. Арзамасова Б.Н. Материаловедение. – 2-е изд., испр. и доп. – М: Машиностроение, 1986.
3. Полухин П. И. Технология металлов и сварка: Учеб. пособие для студентов вузов. – М.: Высшая школа, 1977.
4. Богатев А.А., Мижирнцкий О.И., Смирнов С.В. Ресурс пластичности металлов при обработке давлением. – М.: Metallurgy, 1984.
5. Дальской А.М. Технология конструкционных материалов. – М.: Машиностроение, 1985.
6. Попов Е.А. Основы теории листовой штамповки. – М.: Машиностроение, 1968.
7. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке. – Л.: Машиностроение, 1979.

## ПРИБОР НГ-2 НА ПЕРЕГИБ ПРОВОЛОКИ

### Описание и применение

Прибор НГ-2 на перегиб проволоки предназначен для лабораторных испытаний проволоки из черных и цветных металлов и их сплавов на перегиб по ГОСТ 1579-80, а также лент листового и полосового проката на перегиб по ГОСТ 13813-68. Прибор НГ-2 рассчитан для работы в помещениях лабораторного типа.

### Технические характеристики

- Число одновременно испытываемых образцов - 1.
- Расстояние от верхней образующей валиков до нижней кромки поводка от 5 до 50 мм.
- Угол загиба образца вправо и влево от вертикали  $90 \pm 3^\circ$ .
- Диапазоны задачи усилий предварительного натяжения образца:

- 1 ... 10 Н
- 10 ... 60 Н.

• Пределы допустимого значения погрешности задачи усилий предварительного натяжения образца:

- $\pm 0,5$  Н
- $\pm 5$  Н.

• Размеры испытываемых образцов проволоки:

- диаметр от 0,5 до 5 мм
- длина от 100 до 150 мм.

• Размеры испытываемых образцов проволоки фасонной:

- диаметр описанной окружности от 0,5 до 5 мм
- длина от 100 до 150 мм.

• Ленты листового и полосового проката:

- толщина свыше 0,3 до 3 мм
- ширина 20 -5 мм
- длина от 100 до 150 мм.

• Габаритные размеры 335 x 205 x 480 мм.

• Масса прибора 17,5 кг.



## ПРИБОР МТЛ-10Г-1 ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ОБРАЗЦОВ ИЗ ЛИСТОВОГО МЕТАЛЛА НА ВЫДАВЛИВАНИЕ ПО ГОСТ 10510

### Описание и применение

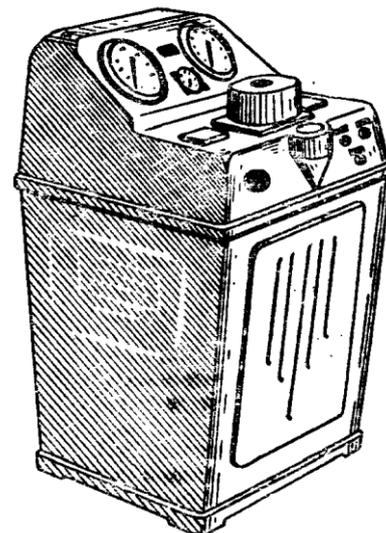
Прибор предназначен для испытания образцов из листового металла на выдавливание по ГОСТ 10510.

В процессе испытания образец из листового металла зажимается между прижимным кольцом и матрицей. Нагружение производится пуансоном до разрушения металла.

Прибор представляет собой гидравлический пресс двойного действия с автоматизированным циклом испытания. Применение электроконтактного манометра в качестве силоизмерителя и возможность автоматического переключения скорости перемещения пуансона повышают точность испытаний и производительность прибора.

Усилие прижима в процессе испытания поддерживается постоянным. Момент разрушения образца фиксируется автоматически.

Глубина выдавливания отсчитывается по индикатору.



### Технические характеристики

- Привод прибора электрогидравлический Вид испытаний по ГОСТ 10510.
- Тип силоизмерителя манометрический.
- Наибольшая нагрузка при выдавливании не менее 10 тс Диапазоны измерения нагрузки при выдавливании.
  - Примечание: шкалы силоизмерителей оцифрованы в кгс/см<sup>2</sup> от 0,3, до 0,6; от 0,6 до 1,5; от 1,5 до 4,5; от 4 до 10 тс.
  - Наибольшая нагрузка прижима образца не менее 2 тс Диапазон измерения нагрузки прижима образца от 1 до 2 тс.
  - Предел допускаемого значения вариации показаний силоизмерителей нагрузки выдавливания и прижима не более 5%.
  - Рабочий ход пуансона не менее 20 мм.
  - Диапазон измерения перемещения пуансона от 0 до 20 мм.
  - Предел допускаемого значения погрешности измерения перемещения пуансона не более  $\pm 0,1$  мм.
  - Рабочая скорость перемещения пуансона от  $5 \pm 1$  до  $20 \pm 4$  мм/мин.
  - Скорость перемещения пуансона на холостом ходу (регулировка скорости плавная) не менее 100 мм/мин.
  - Допускаемая несоосность оси пуансона относительно оси матрицы на длине рабочего хода 0,1 мм.
  - Размеры, предельные отклонения по размерам, шероховатость и твердость испытательного инструмента по ГОСТ 10510.
  - Питание от сети переменного трехфазного тока напряжением 380/220 В, при отклонении от -15% до +10%, частотой  $50 \pm 1$  Гц.
  - Потребляемая мощность не более 1,6 кВт
  - Габаритные размеры прибора (длина x ширина x высота) 1020x760x1400 мм Масса прибора не более 350 кг