

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное агентство по образованию

Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра деталей машин и прикладной механики

В.М. Кушнарченко, В.Г. Ставищенко,  
Г.А. Клещарёва, А.П. Фот

# ОБОРУДОВАНИЕ И МЕТОДЫ МЕХАНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

Методические указания  
к выполнению лабораторных работ  
по курсам «Прикладная механика» и «Соппротивление материалов»

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом  
Государственного образовательного учреждения высшего  
профессионального образования «Оренбургский государственный  
университет»

Оренбург  
ИПК ГОУ ОГУ  
2010

УДК 531.782 (07)  
ББК 34.47я 7  
К99

Рецензент – профессор, доктор технических наук А.А. Муллабаев

К99            Оборудование и методы механических испытаний: методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Прикладная механика» и «Соппротивление материалов» / В.М. Кушнарeнко, В.Г. Ставишeнко, Г.А. Клещарёва, А.П. Фот; Оренбургский гос. ун-т. - Оренбург: ОГУ, 2010. – 15 с.

Методические указания содержат описание конструкции многопозиционной разрывной машины МР-5-8ВМ. Она позволяет испытывать одновременно восемь образцов на воздухе, или в условиях действия коррозионных сред при медленном растяжении, или при постоянной нагрузке, а также обеспечивает дорыв образцов при постоянной нагрузке после их выдержки в коррозионных средах.

В методических указаниях приведена методика выполнения лабораторных работ в соответствии с программами курсов «Прикладная механика» и «Соппротивление материалов» по специальностям 080502, 151001, 151002, 150205, 160201, 160801, 190601, 190603, 240801, 260601, 260602.

УДК 531.782 (07)  
ББК 34.47я 7

© Кушнарeнко В.М., 2010  
Ставишeнко В.Г.,  
Клещарeва Г.А.,  
Фот А.П.  
© ГОУ ОГУ, 2010

## Содержание

1	Многопозиционная разрывная машина МР-5-8 ВМ	4
2	Лабораторная работа № 1. «Кинематика многоскоростного электромеханического привода»	6
3	Лабораторная работа №2. «Испытание материалов на растяжение»	10
4	Лабораторная работа № 3. «Испытание на изгиб и устойчивость»	12
5	Лабораторная работа № 4. «Определение влияния напряженного состояния на пластичность материалов»	14

# 1 Многопозиционная разрывная машина МР -5-8 ВМ

На кафедре ДМ и ПМ ОГУ создана многопозиционная разрывная машина МР-5-8ВМ (рисунок 1), простота эксплуатации и компактность машины сочетаются с ее универсальностью. Она позволяет испытывать одновременно восемь образцов на воздухе, или в условиях действия коррозионных сред при медленном растяжении, или при постоянной нагрузке до 50 кН на каждый образец. Машина обеспечивает, дорыв образцов при постоянной нагрузке после их выдержки в коррозионных средах, а также проведения испытаний материалов на ползучесть.

Нагружатели 4 (рисунок 1) машины выполнены в виде пустотелых цилиндров с боковыми продольными окнами, причем все элементы нагружателя, винтовые пары 6, 7, захваты 8 и опорные узлы образуют отдельный блок. В цилиндрах и задней стойке рамы 5 выполнены оваловые отверстия, продольные оси которых параллельны оси цилиндров, а минимальный диаметр отверстия равен диаметру стержня крепления цилиндров. Нагружатели закреплены на раме попарно-шарнирно на общем стержне на задней стойке рамы и жестко на ближней.

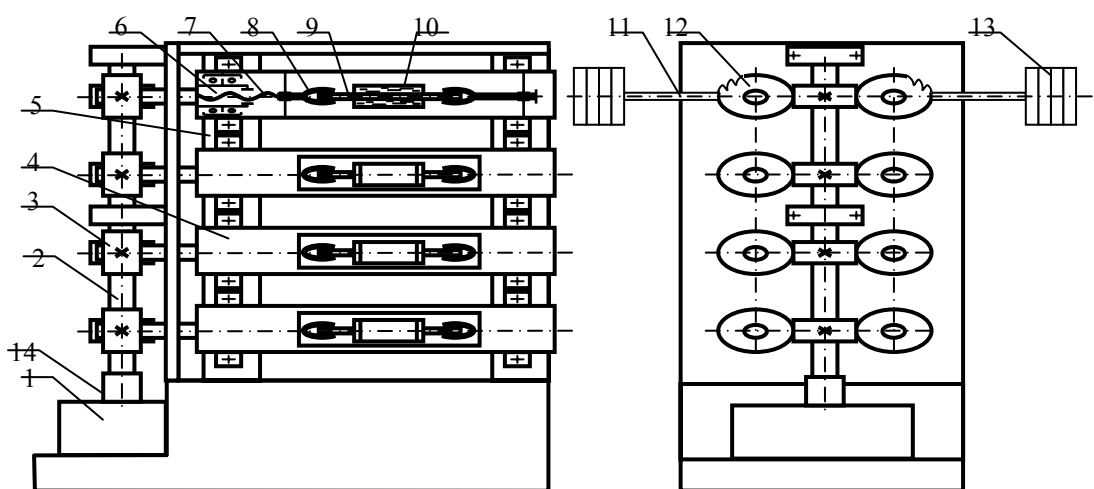


Рисунок 1 - Схема машины МР-5-8ВМ для испытаний материалов на коррозионное растрескивание (КР) при постоянной нагрузке и медленном растяжении.

На рисунке 1 изображена схема машины МР–5–8ВМ, которая состоит из:

1 - привод; 2 - вал; 3 – зубчато-винтовая передача; 4 - винтовой нагрузчитель; 5 - рама; 6 – силовая гайка; 7 - винт; 8 - захват; 9 - образец; 10 - коррозионная камера; 11- грузовой ключ; 12- храповой механизм; 13 – груз; 14 – цепная передача.

Такое исполнение и крепление нагрузателей исключает взаимовлияние разрыва образцов и упрощает конструкцию рамы, так как не требуется высокая точность при ее изготовлении и жесткость при эксплуатации. Для проведения испытаний материалов на КР при медленном растяжении образцы 9, помещенные в коррозионные камеры 10, устанавливают в захваты 8 машины и включают привод 1, приводящий во вращение вертикальный вал 2, колеса зубчато-винтовых передач 3 и силовые гайки 6. Вращение гаек 6 обеспечивает поступательное движение винтов 7 и активных захватов 8 нагрузателей вплоть до разрушения образцов.

Испытания образцов на КР при постоянной нагрузке осуществляют с помощью грузовых ключей 11 с храповыми механизмами 12 и дисковыми грузами 13. Грузовые ключи 11 устанавливают на консоли силовых гаек 12 после закрепления образцов с камерами в захватах машины и отключения от силовых гаек зубчато-винтовых колес 3. Для механического дорыва образцов, выдержавших базовое время коррозионных испытаний, снимают грузовые ключи 11, соединяют зубчато-винтовые колеса 3 с силовыми гайками 6 и включают привод 1 машины. Машина обеспечивает также проведение испытаний материалов на ползучесть, для этого вместо коррозионных камер 10 устанавливают нагревательные элементы.

Машина МР-5-8ВМ (рисунки 1, 2) позволяет более чем в 10 раз сократить время на оценку сопротивления материалов и сварных соединений коррозионному растрескиванию и на определение эффективности

противокоррозионных мер: покрытия, модифицирование поверхности, ингибирование. Машина МР-5-8ВМ не имеет аналогов в мире, 14 таких машин передано различным НИИ страны.

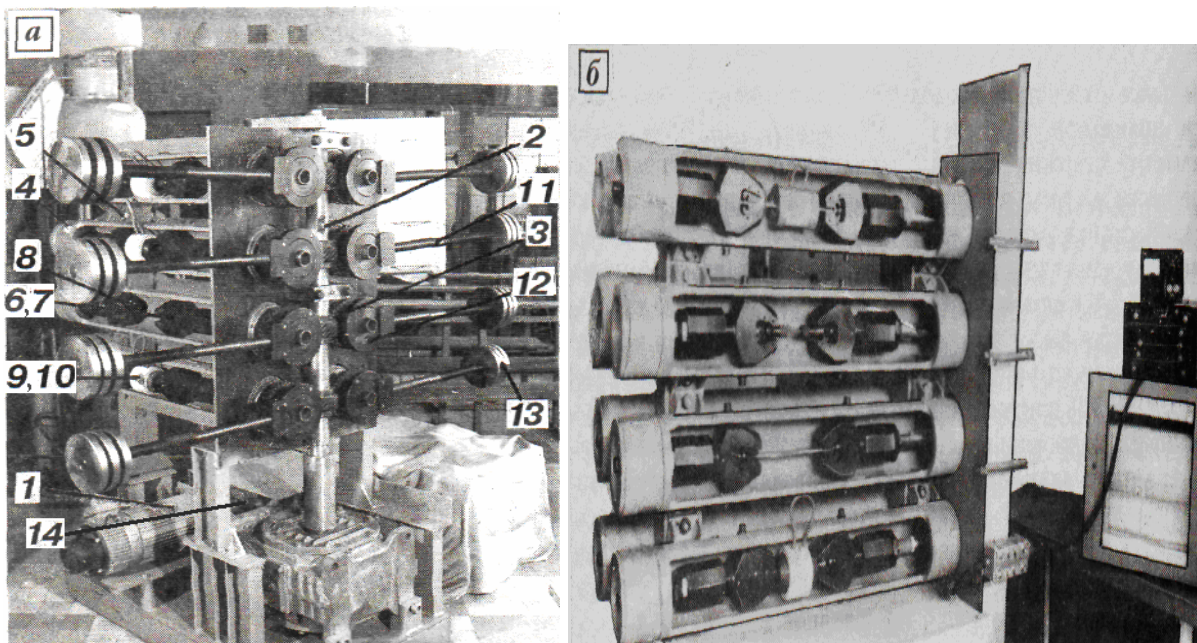


Рисунок 2 - Машина МР-5-8ВМ с грузовыми ключами при испытаниях с постоянной нагрузкой (а) и при испытаниях медленным растяжением (б)

### Техническая характеристика машины МР-5-8ВМ

Наибольшая предельная нагрузка на каждый образец, кН .....	50
Число одновременно испытываемых образцов, шт .....	8
Скорость перемещения активного захвата минимальная, м/с .....	10
Установленная мощность, кВт .....	1,5
Габаритные размеры, мм .....	1600x1700x1500
Масса, кг .....	1500

Машина МР-5-8ВМ позволяет проводить следующие лабораторные работы по курсу «Прикладная механика»:

1. Кинематика многоскоростного электромеханического привода.
2. Испытание материалов на растяжение.
3. Испытание на изгиб и устойчивость.

4. Определение влияния напряженного состояния на пластичность материалов.

## **2 Лабораторная работа № 1. Кинематика многоскоростного электромеханического привода**

### **2.1 Цель работы**

Изучение привода разрывной машины необходимо для приобретения навыков практического определения значений кинематических характеристик разрывной машины:

- общего передаточного числа приводов;
- передаточных чисел отдельных ступеней привода редукторов, цепных передач, зубчато-винтовых передач;
- скорости движения активного захвата.

### **2.2 Последовательность выполнения работы**

2.2.1 Снять кожухи (ограждения) элементов привода.

2.2.2 Определить с помощью секундомера частоту вращения ведущего вала, выходной вал мотор-редуктора привода  $n_{mr}^B$  (паспортное  $n_{mr}^B = 18$  об/мин).

2.2.3 Определить передаточное число  $u_{cy}$  цепной передачи ускоренных испытаний (через числа зубьев звёздочек  $Z_1$  и  $Z_2$  на валу мотор-редуктора и ведущем валу главного редуктора соответственно):

$$u_{цy} = \frac{Z_2}{Z_1}.$$

2.2.4 Отключить муфту ведущего вала главного редуктора перемещением подвижной полумуфты.

2.2.5 Включить приводной электродвигатель.

2.2.6 Определить частоту вращения ведущего вала главного редуктора  $n_{зл.р.}$ .

2.2.7 Определить передаточное число  $u_{цy}$  цепной передачи ускоренных

испытаний: 
$$u'_{цy} = \frac{n_{мп}}{n_{зл.р.}^B}.$$

2.2.8 Сравнить значения  $u_{цy}$  и  $u'_{цy}$  (должны быть равны).

2.2.9 Определить частоту вращения ведомого вала первого червячного редуктора (следующий за мотор-редуктором)  $n_{1чp}^T$  с помощью секундомера.

2.2.10 Определить передаточное число  $u_{1чp}$  :

$$u_{1чp} = \frac{n_{мп}^T}{n_{1чp}^T}.$$

2.2.11 Сравнить с паспортными данными редуктора  $u_{1чp} = 16$ .

2.2.12 Выключить двигатель.

2.2.13 Определить передаточное число  $u_{цм}$  цепной передачи испытаний с малой скоростью деформирования (через числа зубьев звёздочек  $Z'_1$  и  $Z'_2$  этой передачи):

$$u_{цм} = \frac{Z'_2}{Z'_1}.$$

2.2.14 Определить частоту вращения ведущего вала второго червячного редуктора  $n_{2чp}^B$  с помощью секундомера.

2.2.15 Определить передаточное число передачи  $u'_{цм}$

$$u'_{цм} = \frac{n_{1чp}^T}{n_{2чp}^B}.$$



2.2.16 Сравнить  $u_{цм}$  и  $u'_{цм}$  (должны быть равны).

2.2.17 Определить частоту вращения ведомого вала второго червячного редуктора  $n_{2чр}^T$  с помощью секундомера (частота вращения подвижной полумуфты).

2.2.18 Определить передаточное число второго редуктора  $u_{2чр}$  :

$$u_{2чр} = \frac{n_{2чр}^B}{n_{2чр}^T}.$$

2.2.19 Сравнить  $u_{2чр}$  с паспортными данными для второго редуктора.

2.2.20 Определить передаточное число цепи малых скоростей  $u_{мс}$  :

$$u_{мс} = u_{1чр} \cdot u_{2чр} \cdot u_{цм}.$$

2.2.21 Определить частоту вращения  $n_{в.в.}$  вертикального вала разрывной машины с помощью секундомера.

2.2.22 Определить передаточное число главного редуктора  $u_{гл.р.}$  :

$$u_{гл.р.} = \frac{n_{2чр}^T}{n_{в.в.}}$$

2.2.23 Сравнить с паспортным значением  $u'_{гл.р.} = 50$ .

2.2.24 Определить передаточное число  $u_{звп}$  зубчатой винтовой передачи, используя числа зубьев  $Z_{1звп}$  и  $Z_{2звп}$  колёс:

$$u_{звп} = Z_{2звп} / Z_{1звп}$$

2.2.25 Определить передаточное число цепи ускоренных испытаний:

$$u_{цу} = u_{1чр} \cdot u_{2чр} \cdot u_{цм}$$

2.2.26 Определить передаточное число цепи малых скоростей:

$$u_{мс} = u_{1чр} \cdot u_{2чр} \cdot u_{цм}$$

2.2.27 Определить частоту вращения гайки силового винта,  $n_{всв}$  :

$$n_{всв} = \frac{n_{мп}^T}{u_{мс}} - \text{малые скорости испытаний};$$

$$n_{\text{вгсв}} = \frac{n_{\text{мр}}^T}{u_{\text{цп}}}$$

- ускоренные испытания.

2.2.28 Определить скорость движения захвата  $V_3$  :

$$V_3 = \frac{\pi n_{\text{вгсв}}}{30} \cdot \frac{P}{10^3}, \text{ мс}$$

где P - шаг винта, P = 3мм.

2.2.29 Определить время механических испытаний  $t_{\text{ми}}$  :

$$t_{\text{ми}} = \frac{l_3}{V_3},$$

где  $l_3$  - перемещение захвата до разрыва образца,  $l_3 = 20$ мм ;

2.2.30 Определить время коррозионно-механических испытаний  $t_{\text{кми}}$  :

$$t_{\text{кми}} = \frac{l'_3}{V'_3},$$

где  $l'_3$  и  $V'_3$  - параметры движения захвата.

2.2.31 Определить ориентировочное значение КПД привода при механических и коррозионно-механических испытаниях ( $\eta_{\text{ми}}$  и  $\eta_{\text{кми}}$  соответственно):

$$\eta_{\text{ми}} = \eta_{\text{мр}} \cdot \eta_{\text{цп}} \cdot \eta_{\text{гл.р.}} \cdot \eta_{\text{звп}} \cdot \eta_{\text{вг}};$$

$$\eta_{\text{кми}} = \eta_{\text{мр}} \cdot \eta_{\text{чр}}^2 \cdot \eta_{\text{цпм}} \cdot \eta_{\text{гл.р.}} \cdot \eta_{\text{звп}} \cdot \eta_{\text{вг}}$$

где  $\eta_{\text{мр}}$  - КПД мотор-редуктора;

$\eta_{\text{цп}}$  - КПД цепной передачи при ускоренных испытаниях ( $\eta_{\text{цпм}} = \eta_{\text{цп}}$ );

$\eta_{\text{гл.р.}}$  - КПД главного редуктора;

$\eta_{\text{чр}}$  - КПД промежуточных червячных редукторов (двух);

$\eta_{\text{звп}}$  - КПД зубчато-винтовой передачи (с опорами валов);

$\eta_{\text{вг}}$  - КПД винт-гайки с опорами гайки.

Значения КПД отдельных элементов задаётся по рекомендациям справочной литературы.

## 2.3 Оформление результатов

2.3.1 Полученные значения передаточных чисел, частот вращения валов и КПД элементов привода помещают в таблицу 1.

Таблица 1

Частоты вращения валов <i>об/мин</i>		Передаточные числа		КПД
Вал $ n_i $ $n'_i$		$n_i$	$n'_i$	$\eta_i$
Мотор-редуктор	Ведущий - В			
	Ведомый - Т			
1-й червячный редуктор	В			
	Т			
2-й червячный редуктор	В			
	Т			
Зубчато-винтовая передача	В			
	Т			
Передача винт- гайка	В			
	Т			
Привод в целом	В			
	Т			

где  $n_i$  - частота вращения  $i$ -го вала

2.3.2 Вычертить кинематическую схему привода (полную либо частичную по указанию руководителя).

Контрольные вопросы:

1. Что такое «электромеханический привод»?
2. Что такое «передаточное число»?
3. Что такое «коэффициент полезного действия»?
4. Что такое «кинематическая схема»?

### 3 Лабораторная работа №2. Испытание материалов на растяжение

Цель работы:

Определение механических (прочностных и пластических) характеристик материалов.

Механическими характеристиками являются:

$$\sigma_{\epsilon} = \frac{F_{\max}}{A_0} - \text{предел прочности, МПа;}$$

$$\sigma_T = \frac{F_T}{A_0} - \text{предел текучести, МПа;}$$

$$\psi = \frac{A_0 - A_K}{A_0} \cdot 100\% - \text{относительное сужение после разрыва;}$$

$$\delta = \frac{l_K - l_0}{l_0} \cdot 100\% - \text{относительное удлинение после разрыва;}$$

$A_0$  и  $A_K$  - начальная и конечная площади поперечного сечения образца,  $\text{мм}^2$ ;

$l_K$  и  $l_0$  - начальная и конечная длины рабочей части образца,  $\text{мм}$  ( $l_0 = 30\text{мм}$ );

$F_{\max}$  и  $F_T$  - значения сил по диаграмме растяжения.

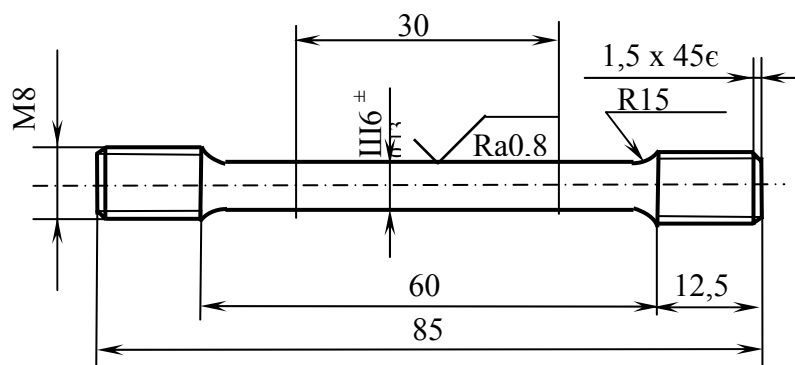


Рисунок 3 - Эскиз образца на одноосное растяжение



Рисунок 4 - Диаграммы растяжения

Таблица 2 - Результаты испытаний

Материал образца	Размеры рабочей части образца, мм					Нагрузка, кН		Механические характеристики				
	До испытаний			После испытаний			$F_T$ , Н	$F_{max}$ , Н	$\sigma_b$ , МПа	$\sigma_T$ , МПа	$\psi$ , %	$\delta$ , %
	$d_0$ , мм	$l_0$ , мм	$A_0$ , мм	$d_k$ , мм	$l_k$ , мм	$A_k$ , мм						

По результатам испытаний определить прочностные и пластичные характеристики используемого материала и построить диаграмму растяжения

$$\sigma = f(\varepsilon) .$$

где  $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \cdot 100\%$  - относительное удлинение,

Контрольные вопросы:

1. Что характеризует диаграмма растяжения и какие характеристики материала определяют из диаграммы?
2. По каким напряжениям (нормальным или касательным) выполняют расчёты при растяжении материалов?
3. Что показывает коэффициент Пуассона?
4. В каких сечениях растянутого стержня возникают наибольшие касательные напряжения?

## 4 Лабораторная работа № 3. Испытание на изгиб и устойчивость

Цель работы:

- определение напряжений по величине прогибов при изгибе;
- установление величины критической нагрузки при испытании на устойчивость

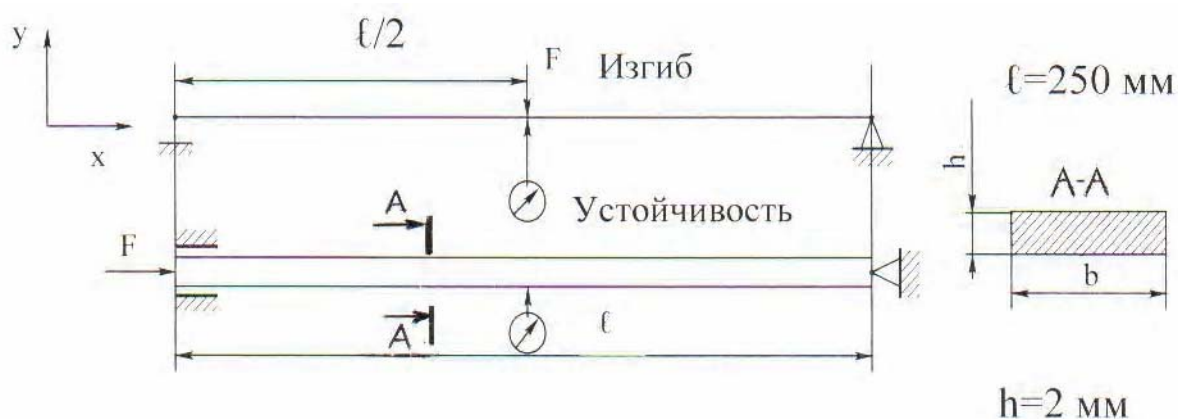


Рисунок 5 - Схемы испытаний

Таблица 3 - Результаты испытаний и расчётные формулы при изгибе

Наименование показателей	Значения					
Изгибающий момент $M_{xi} = \frac{F_i \cdot \ell}{4}$ , Н·мм						
Прогиб $y_i$ , мм						
Напряжения $\sigma = \frac{M_{xi}}{J_x} y_i$ , МПа						

$$J_x = b \cdot h^3 / 12 = 20 \cdot 2^3 / 12 \approx 13,3 \text{ мм}^4 \text{ - момент инерции, } J_x = 13,3 \text{ мм}^4$$

$$y_i = \frac{F_i \cdot \ell^3}{48 \cdot E \cdot J_x}, \text{ где } E = 20 \cdot 10^5 \text{ МПа } (y_i \rightarrow F_i \rightarrow M_{xi} \rightarrow \sigma_i)$$

Таблица 4 - Результаты испытаний на устойчивость

Наименование показателей	Значения					
$F_i$ , Н						
$y_i$ , мм						

$$F_{кр} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J_{\min}}{\lambda^2 \cdot \ell^2}$$

- критическая нагрузка – наименьшее значение осевой силы, при котором, для определённым образом закреплённого стержня, равновероятны прямолинейная и криволинейная формы.

$\lambda$  - коэффициент приведения длины;

$J_{\min} = J_x = b \cdot h^3 / 12 = 13,3 \text{ мм}^4$  - минимальный момент инерции.

Схемы закрепления стержня

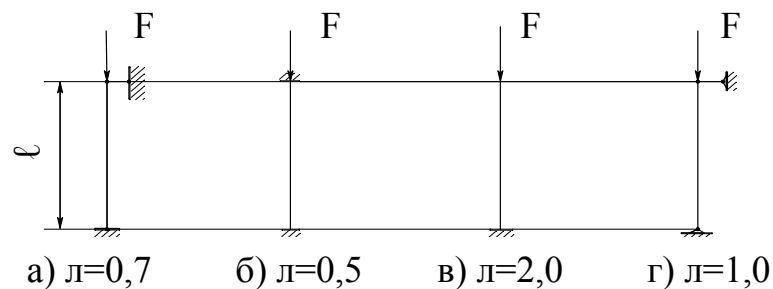


Рисунок 6

После экспериментального определения величины критической нагрузки  $F_{кр}^{экс}$

Необходимо сравнить ее с теоретической  $F_{кр}^T$  и установить, какая схема закрепления стержня (рисунок 6, а, б, в, г) соответствует экспериментальной.

Контрольные вопросы:

1. Чем отличается чистый изгиб от поперечного?
2. Как определяют изгибающий момент и поперечную силу при изгибе?
3. Что называется моментом инерции и жесткостью стержня при изгибе?
4. В чем состоит явление потери устойчивости сжатого стержня?
5. Что представляет собой коэффициент приведения длины?

Работу выполнил:

Работу принял:

## **5 Лабораторная работа № 4. Определение влияния напряженного состояния на пластичность материалов**

Цель работы: экспериментальное определение влияния напряженного состояния (НС) на пластичность материалов.

Для определения влияния НС на пластичность материалов кроме испытаний на одноосное растяжение цилиндрических образцов (рисунок 3), для которых показатель НС  $\lambda=1$ , проводят испытания плоских образцов (рисунок 7)  $\lambda=0$  и трубчатых образцов (рисунок 8)  $\lambda=2$ .

Создание двухосного НС осуществляют с помощью цангового устройства (рисунок 8), позволяющего проводить на разрывных машинах (рисунок 1,2) испытания трубчатых образцов (рисунок 8), с обеспечением в двухосно деформируемом участке образца постоянной скорости деформирования.

Для проведения испытаний цанговое устройство помещают внутрь трубчатого образца (рисунок 8), наружная рабочая поверхность которого в



зависимости от вида испытаний механические или коррозионно-механические – находятся под воздействием инертной или коррозионной среды. При испытании отдельных зон сварных соединений сферическую рабочую поверхность устройства располагают в области исследуемой зоны сварного трубчатого образца. Устройство с помощью переходников крепится в захватах разрывной машины (рисунок 1,2) .

Пластичность материалов при чистом сдвиге  $\alpha=0$  оценивают испытаниями на разрывных машинах (рисунок 1,2) плоских образцов (рисунок 7), при этом материал в зоне перемычки деформируется в условиях, близких к простому сдвигу. Степень деформации сдвига, характеризующую пластичность материалов, определяют по формулам:

$$e_p = \operatorname{tg} \alpha / \sqrt{3}$$

где  $\alpha$  угол отклонения вертикальной риски, нанесенной на плоский образец в области перемычки до испытания (рисунок 7) , измеренный после растяжения образца с точностью до  $\pm 1$  минута.

Степень деформации при испытании образцов (рисунок 3) на растяжении находят по формуле:

$$\Delta_p = 2 \ln d_0 / d .$$

где  $d_0$  и  $d$  – диаметр цилиндрического образца (рисунок 3) до и после растяжения.

Максимальную окружную степень деформации трубчатого образца (рисунок 8) при разрушении вычисляют из соотношения:

$$\Delta_T = 2 \ln R / R_0$$

где  $R_0$  и  $R$  - радиус внешней окружности трубчатого образца до и после испытания.

По результатам испытаний определяют степень деформации сдвига и строят график зависимости ее от показателя НС з.

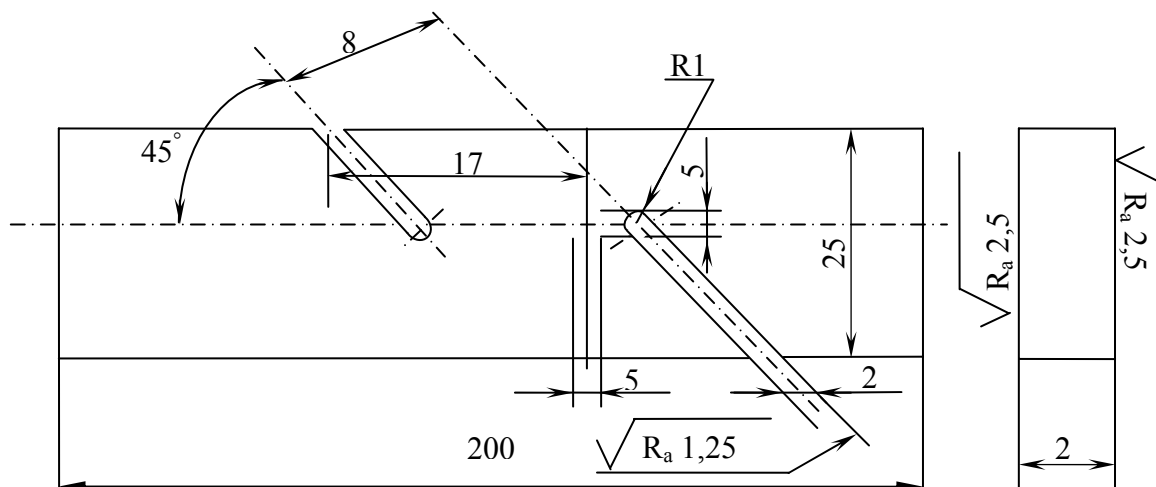
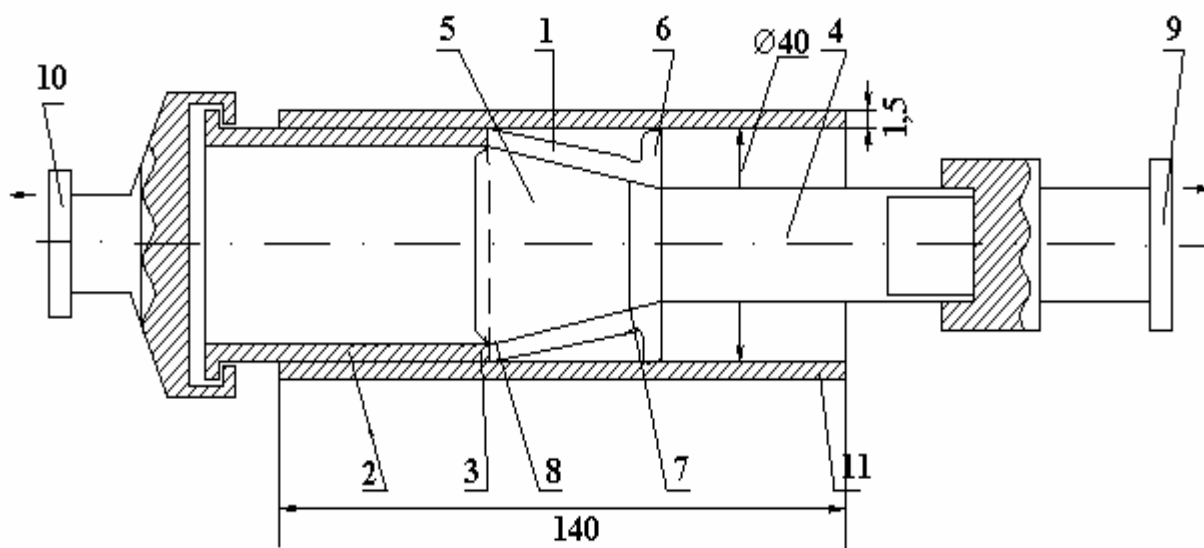


Рисунок 7 - Плоский образец для испытаний материалов на сдвиг



1 - оправка; 2 и 3 – цилиндрическая и коническая поверхности оправки;  
 4 - тяга; 5 - головка тяги; 6 - сферический борт оправки;  
 7 и 8 – прямолинейный и криволинейный участки головки тяги;  
 9 и 10 - переходники; 11 - трубчатый образец:  $l=140$  мм,  $Ш_H40$  мм,  $d_{ст}=1,5$  мм.

Рисунок 8 - Устройство для испытаний трубчатых образцов.

Контрольные вопросы:

1. Виды напряженных состояний?
2. Примеры НС конструкций, встречающихся на практике?
3. В каком из рассмотренных случаев пластичность материала наибольшая и почему?
4. Какое НС называют чистым сдвигом?
5. В каком из рассмотренных случаев величина касательных напряжений наибольшая?

Работу выполнил:

Работу принял: