

УСТАНОВКА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОИЗВОДИМЫХ КРИВЫХ БРУСЬЕВ ПРИ ЧИСТОМ ИЗГИБЕ

Как известно [1], при чистом изгибе в сечениях бруса возникают только нормальные напряжения. Такое однородное напряженное состояние удобно для экспериментальной проверки соотношения между напряжением и деформацией. Поэтому часто стремится ставить эксперименты на чистый изгиб, чтобы исключить влияние на деформации касательных напряжений. На практике [2,3] состояние чистого изгиба бруса достигают четырехточечным нагружением (рис.1), в этом случае в сечениях бруса между опорами А и В возникает только изгибающий момент, такое же состояние можно достичь на участке АВ консольного бруса при нагружении парой сил (рис.2).

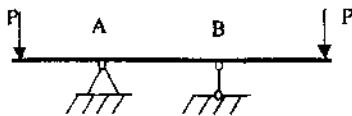


Рис 1



Рис 2

Нагружение кривого бруса выше указанными способами технически весьма трудно, так как в деформированном состоянии, особенно при больших



Рис 3

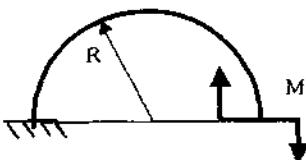


Рис 4

прогибах, направление и точку приложения сил необходимо изменять вслед за перемещением бруса (рис.3).

В данной работе предлагается установка, позволяющая создать состояние чистого изгиба кривого бруса с помощью сосредоточенного изгибающего момента M , который, сохраняя свое направление и значение, может перемещаться вслед за точкой приложения (рис.4).

Рассмотрим схему предлагаемой установки (рис.5, 6). Установка состоит из металлического корпуса 1, к которому жестко закреплено основание 2 захвата образца. Захват 3 образца крепится к основанию с помощью болтов и имеет возможность регулировки в горизонтальной плоскости. Образец 4 уста-

навивается в захватах консольно. Для создания изгибающего момента на

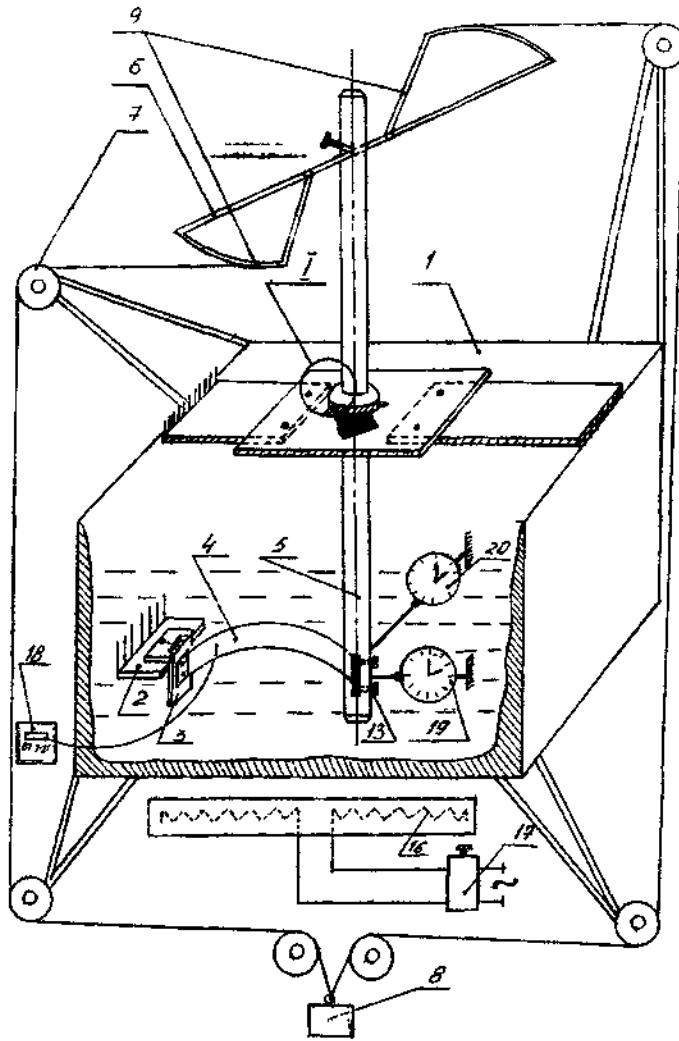


Рис.5

конце образца (или в любом другом месте) устанавливается стержень 5, к верхнему концу которого закреплена поперечная балка 6, выполняющая функцию плеча. Для исключения влияния изменения направления силы на значение

момента концы плеча сделаны в виде полукруга 9, к которым крепятся

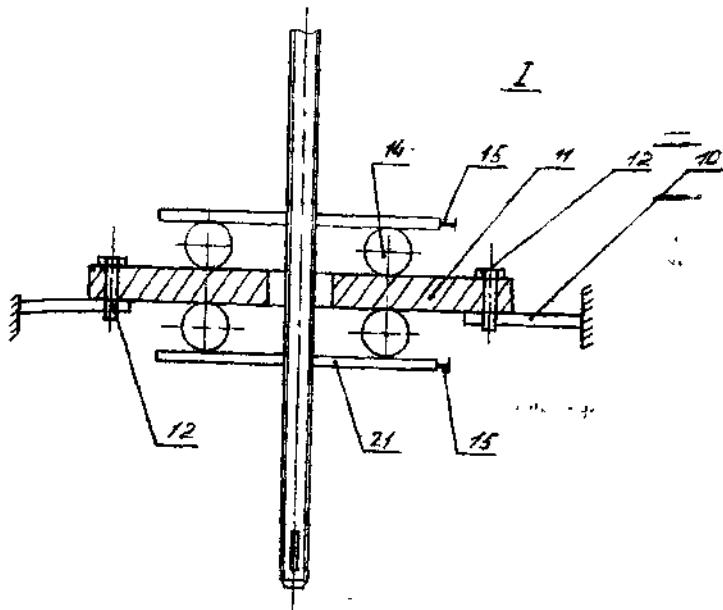


Рис.6.

гибкие тросы, соединенные через систему блоков 7 с грузодержателем 8. Для удержания стержня 5 в вертикальном положении и исключения его давления на образец своей тяжестью, стержень устанавливается на неподвижной опоре 11, жестко соединенной с корпусом 1 через пластину 10. Неподвижная опора 11 имеет в центре отверстие, достаточное для горизонтального перемещения стержня 5 вслед за концом образца. С целью уменьшения трения при перемещении стержня, между нижней, верхней 21 и неподвижной опорами 11 установлены шарики (подшипники). Стержень 5 на подвижные опоры устанавливается на резьбе, что дает возможность регулировать зазор в подшипниковом соединении.

Установка позволяет исследование поведения образца в широком интервале температуры (от -10 до 200 градусов по Цельсию). Для обеспечения равномерности распределения температуры по образцу, он находится в жидкой среде (в масле). Нагрев жидкости осуществляется с помощью электрического нагревателя 16, напряжение в нагревателе регулируется автотрансформатором 17. Температура образца измеряется хромель-алюмелевой термопарой, подключенной к милливольтметру 18.

На установке можно измерять перемещение в горизонтальной плоскости свободного конца (вообще говоря, любого сечения) образца с помощью индикаторов часового типа 19 и 20 в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

Для испытания установки провели следующий эксперимент. Изготовили стальной образец прямоугольного поперечного сечения с внутренним радиусом $R_{\text{вн}}=55,3$ мм, толщиной $h=1,7$ мм и шириной $b=19,4$ мм. Образец закрепили в установке и провели нагружение в пределах упругости изгибающим моментом с шагом 0,12 Нм. Затем измеряли прогибы свободного конца образца в двух взаимно перпендикулярных направлениях на каждой ступени нагружения. Результаты измерений представлены на рис.9 в виде зависимости прогиба от изгибающего момента.

С целью проверки допущения о том, что при чистом изгибе кривого бруса постоянного радиуса (части окружности) форма бруса остается дугой окружности, провели следующий эксперимент. К образцу перед нагружением прикрепляли иголки с торчащими вверх остриями и после каждой ступени нагружения снимали отпечаток формы бруса наложением бумаги на иглы. Затем, соединяя полученные точки плавной линией по методике, изложенной в [4], определяли центр окружности и радиус линии. Как видно из рис. 7., форма бруса остается дугой окружности, лишь меняется ее радиус.

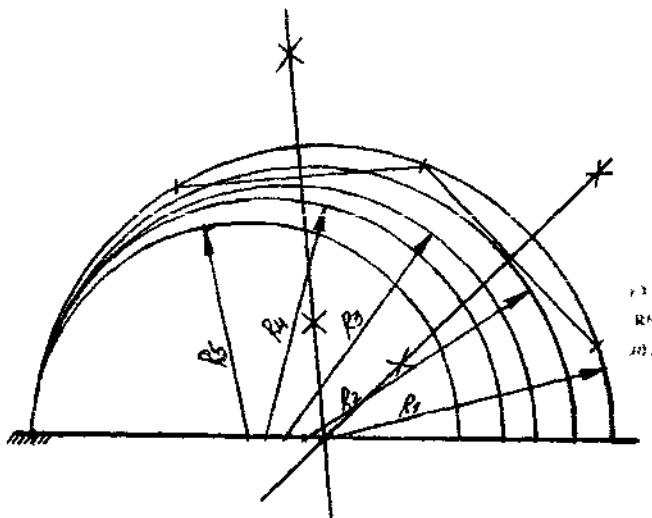


Рис.7.

Рассмотрим аналитическое определение прогибов методом Мора. Для этого приложим к свободному концу бруса сосредоточенный изгибающий момент M , и единичные силы $P=1$ в двух взаимноперпендикулярных направлениях (рис.8).



Рис 8

Изгибающий момент в сечении бруса определяется по формуле [2]:

$$M = F t_e e F \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r_0} \right) \quad (1)$$

где- E - модуль упругости материала образца, r_0 , e - радиус нейтральной оси и смещение нейтральной оси сечения в ненагруженном состоянии бруса, F - площадь поперечного сечения бруса, r - радиус нейтрального слоя при действии изгибающего момента.

Формула Мора в этом случае имеет вид:

$$f = \int \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r_0} \right) M_1 ds \quad (2)$$

где f - прогиб, M_1 - изгибающий момент от действия единичной силы $P=1$, приложенной к тому сечению бруса, где определяется прогиб, s -длина дуги бруса.

Из рис. 7 видно, что

$$M_{1_{top}} = -r_0(1 - \cos \varphi), \quad M_{1_{sep}} = -r_0 \sin \varphi, \quad ds = r_0 d\varphi, \quad 0 \leq \varphi \leq \pi - \alpha_0 \quad (3)$$

Подставляя (1) и (3) в формулу (2), получим для вертикального и горизонтального прогибов следующие выражения:

$$f_{top} = \frac{Mr_0}{EeF} [(\pi - \alpha_0) - \sin(\pi - \alpha_0)], \quad f_{sep} = \frac{Mr_0}{EeF} [1 - \cos(\pi - \alpha_0)] \quad (4)$$

Проведем вычисление прогибов кривого бруса с прямоугольным поперечным сечением по формулам (4) при следующих данных:

Модуль упругости материала $E=2 \cdot 10^5 \text{ MPa}$, наружные и внутренние радиусы бруса $R_{nap}=57 \text{ мм}$, $R_{int}=55,3 \text{ мм}$, ширина сечения $b=19,4 \text{ мм}$, толщина сечения $h=1,7 \text{ мм}$

Для прямоугольного сечения смещение нейтрального слоя e вычисляется по формуле [2]:

$$e = \frac{R_{nap} + R_{int}}{2} - \frac{R_{nap} - R_{int}}{\ln \left(\frac{R_{nap}}{R_{int}} \right)} \quad (5)$$

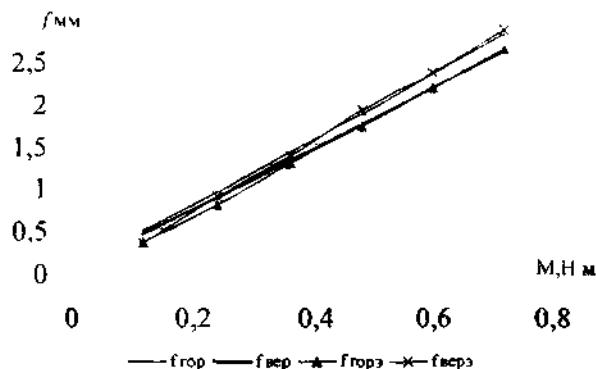


Рис 9

Как видно из. рис. 9 теоретические и экспериментальные прогибы отличаются максимум на 4,5 %, что дает основу утверждать о работоспособности предложенной установки.

Литература

1. Тимошенко С.П., Гере ДЖ. Механика материалов М., "Мир". 1976.
2. Феодосьев В.И Сопротивление материалов. М., "Наука",1979.
3. Дарков А В. Сопротивление материалов. М."Наука",1989
4. Попова Г.Н , Алексеев С Ю. Машиностроительное черчение. Справочник.- Л., "Машиностроение", 1987.