
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 620.172.225

З.Н. Соколовский

д.т.н., доцент,
профессор кафедры "Машиноведение"

М.А. Федорова

д.т.н., доцент,
профессор кафедры "Машиноведение"

Д.Ю. Каркошко

студент
Омский государственный
технический университет
г. Омск, Россия

МОДЕРНИЗАЦИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ "ИСПЫТАНИЕ НА РАСТЯЖЕНИЕ"

Для проектирования различных конструкций, деталей машин и механизмов необходима информация о прочностных и деформационных свойствах материалов, которую можно получить при помощи механических испытаний. Самым распространённым и дающим наибольшую информацию о механических свойствах металлов является статическое испытание на растяжение. Оно проводится в соответствии с ГОСТом,

в данной статье ставятся цель экспериментального исследования жесткости испытательной машины ИМ-4Р и корректировка методики обработки результатов испытаний с целью повышения точности определения модуля Юнга и характеристик пластичности материала.

Характеристика лабораторной установки. Схема ИМ-4Р представлена на рис.1.

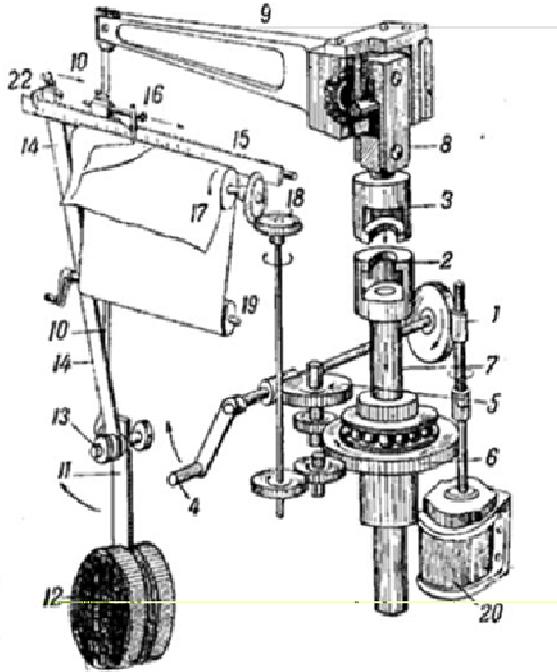


Рис. 1. Схема испытательной машины на растяжение ИМ-4Р:

- 1 - винт нагружающего механизма, 2 и 3 - зажимы машины,
 4 - рукоять, 5 - трёхступенчатый редуктор (первые две ступени червячные,
 третья - зубчатая), 6 - винтовая пара, 7 - ходовой винт, 8 - верхняя опора,
 9 - рычаг первого рода, 10 - стержень, 11 - маятник, 12 - противовес,
 13 - шарнирно - подвижная опора, 14 - рычаг, 15 - измерительная шкала,
 16 - подвижная каретка, 17 - барабан, 18 - коническая пара,
 19 - валик для рулонной бумаги, 20 - электродвигатель.

При нагружении образца диаграммный аппарат в масштабе $M_p = 100$ Н/мм достаточно точно фиксирует растягивающее усилие $P = x_p \cdot M_p$, где x_p - результат измерения координаты по оси сил на рулонной бумаге. Удлинение же образца Δl_o определяется в сумме с Δl_o перемещения правого плеча рычага 9, удлинениями деталей 8, 3, 2, 7, приведенной деформацией зубьев и тел качения подшипников редуктора 5 в масштабе $M_l = 0,01$ мм/мм

$$\Delta l = \Delta l_o + \Delta l_o = x_l \cdot M_l, \quad (1)$$

где x_l - результат измерения по оси l

В настоящей работе в ходе испытаний специально изготовленного образца большой жесткости (см. рис. 2) экспериментально определялась зависимость $\Delta l_o(P)$ и существенно уточнялась величина деформации образца, особенно в упругой области

$$\Delta l_o(P) = \Delta l(P) - \Delta l_o(P).$$

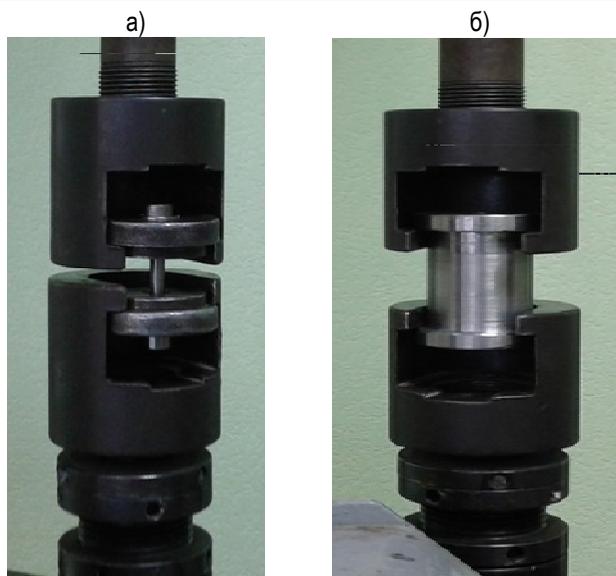


Рис. 2. Испытание на разрывной машине ИМ-4Р:
а - стандартного образца; б - образца большой жёсткости

Это позволило уточнить определяемые параметры пластичности материала и даже оценить модуль Юнга, что практически было не возможно без учета Δl_0 .

Оценка жёсткости лабораторной установки. В ходе испытаний с образцом большой жёсткости определялась совокупность значений x_{pi} и x_{li} , проводилась аппроксимация полученной функции многочленом 4-го порядка (см. рис. 3). Точность аппроксимации составила 0,9993. Итоговая поправочная функция, позволяющая исключить в опытах Δl_0 :

$$X_{l0} = 0,385 \cdot x_p - 0,0022 \cdot x_p^2 + 0,000009 \cdot x_p^3 - 0,00000008 \cdot x_p^4 \quad (1)$$

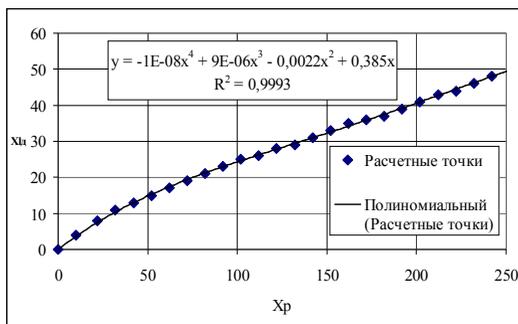


Рис. 3. Аппроксимация функции

Алгоритм обработки результатов испытаний образцов:

1. В результате обработки диаграммы растяжения на рулонной бумаге формируем массив значений x_{li}, x_{pi} . Для повышения точности расчетов рекомендуется усреднить значения x_{pi} по трем точкам.

2. Вычисляем массив $\Delta l_{oi} = (x_{li} - X_{l0}(x_{pi})) \cdot M_b$, $P_i = x_{pi} \cdot M_p$

3. Вычисляем массив относительных деформаций и нормальных напряжений :

$$\varepsilon_i = \frac{\Delta l_{oi}}{l_o}, \quad \sigma_i = \frac{P_i}{A},$$

где l_o длина рабочей части образца, A - площадь образца.

4. Строим диаграмму деформирования материала $\sigma_i(\varepsilon_i)$.

5. Вычисляем предел прочности как $\sigma_B = \max \sigma_i$.

6. Вычисляем расчетные значения модуля Юнга в начале диаграммы (в пределах видимого выполнения закона Гука $i \leq k$) как $E_i = \frac{\sigma_i - \sigma_{i-1}}{\varepsilon_i - \varepsilon_{i-1}}$ и его среднюю оценку как

$$\bar{E} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k E_i.$$

7. Если $E_k < \frac{\bar{E}}{2}$ уменьшаем k и повторяем расчет по п.6.

8. Определяем остаточную деформацию при разрыве как

$$\delta = (\varepsilon(\sigma_B) - \frac{\sigma_D}{E}) \cdot 100\%.$$

9. Определяем условный предел текучести $\sigma_{0,2}$ как точку пересечения диаграммы деформирования с прямой $\sigma = (\varepsilon - 0,002) \cdot \bar{E}$.

Апробация алгоритма. На рис. 4 приведена обработка результатов испытаний стального образца по предложенному алгоритму. Получено:

$$\bar{E} = 1,95 \cdot 10^5 \text{ МПа}; \sigma_B = 472 \text{ МПа}; \sigma_{0,2} = 311 \text{ МПа}; \delta = 6,41\%.$$

Для сравнения на этом же рисунке приведена диаграмма растяжения без коррекции деформаций по (1). В этом случае:

$$\bar{E}' = 3,58 \cdot 10^4 \text{ МПа}; \delta = 6,54\%.$$

Значение модуля Юнга не соответствует стали. Остаточное удлинение при разрыве и условный предел текучести отличаются не значительно [1-7].

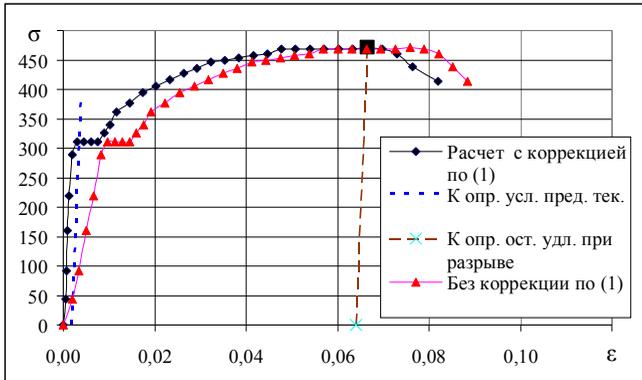


Рис. 4. Диаграмма растяжения стального образца с коррективкой и без коррекции

Вывод: предлагаемая коррекция при обработке диаграммы растяжения позволяет относительно точно оценивать модуль Юнга испытываемого материала.

Список литературы

1. Александров А.В., Потапов В.Д., Державин Б.П. Сопротивление материалов: Учеб. для вузов. - 2-е изд. испр. - М.: Высш. шк., 2001. - 560 с.: ил.
2. Агамиров Л.В. Сопротивление материалов. Краткий курс. М.: ООО "Издательство Астрель": ООО "Издательство АСТ", 2003.- 256 с.: ил.
3. Яковлев, В.Ф. Измерение деформаций и напряжений в деталях машин /В.Ф.Яковлев. - М.-Л.: Машгиз, 1963. - 192 с.
4. Бернштейн М.Л., Займовский В. А. Структура и механические свойства металлов.-М.,1980.
5. Золоторевский В.С. Механические свойства металлов - М., 1983. - 352с.
6. ГОСТ 1497-84. Металлы. Методы испытаний на растяжение (с Изменениями N 1, 2, 3).
7. ISO/DIS 10113(en) Metallic materials - Sheet and strip - Determination of plastic strain ratio.

© З.Н. Соколовский, М.А. Федорова, Д.Ю. Каркошко, 2018