Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, том XXXVI, вып. 3, 1958 г.

ЗАМЕТКИ

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРЕДЕЛОВ ТЕКУЧЕСТИ ПРИ ИЗГИБЕ

Е. Н. Тарасенко

Пределы текучести при растяжении и сжатии являются очень важными характеристиками прочности пластически деформируемых материалов, обладающих как большой, так и очень малой пластичностью. Эти характеристики механических свойств необходимы для расчетов на прочность при изгибе, кручении и других видах сложных напряженных состояний элементов конструкций и машин, материал которых неодинаково сопротивляется растяжению и сжатию.

Большинство предложенных в последнее время уточненных условий вязкой и хрупкой прочности материала (в том числе и [1,2]) включает в себя коэффициент β, равный отношению предела текучести при растяжении к пределу текучести при сжатии. Вследствие наличия сил трения на торцах образца определение предела текучести при простом осевом сжатии затруднительно. Поэтому коэффициент β лучше устанавливать путем испытания материала на чистый изгиб. Сравнение пределов текучести при изгибе с пределами текучести, определенными по испытаниям на одноосное растяжение, позволяет также выяснить вопрос о влиянии неоднородности напряженного состояния при изгибе на сопротивление материала деформации.

Однако определение пределов текучести при чистом изгибе связано со следующими особенностями.

1. Неравномерность распределения напряжений и деформаций по высоте сечения балки приводит к тому, что при появлении остаточных деформаций в наиболее удаленных от нейтрального слоя волокнах внутренние волокна продолжают деформироваться упруго. При разгрузке это обстоятельство приводит к появлению остаточных напряжений, которые способствуют уменьшению пластических деформаций.

2. Формулы теории упругих деформаций неприменимы для расчета напряжений при пластическом изгибе стержня.

Опыты показали, что гипотеза плоских сечений справедлива не только для упругой, но и для пластической стадии чистого изгиба стержня. Основываясь на гипотезе плоских сечений и других допущениях теории чистого изгиба, А. Надаи [3] было получено следующее дифференциальное уравнение для расчета напряжений в наиболее

удаленных от нейтральной оси волокнах стержня при любом законе, связывающем напряжения с деформациями $\sigma = f(\varepsilon)$,

$$\sigma_p = \frac{1+\beta}{bh^2}\left(\theta\frac{dM}{d\theta} + 2M\right), \tag{1}$$

$$\beta = \frac{\sigma_p}{\sigma_c}, \tag{2}$$

где σ_p, σ_c — соответственно наибольшие растягивающие и сжимающие напряжения;

b, h — ширина и высота прямоугольного поперечного сечения;

θ — угол поворота сечения;

M — изгибающий момент.

Если деформации наиболее удаленных растянутых и сжатых волокон изгибаемого стержня измеряются одинаковыми тензометрами, имеющими базу l, то угол поворота сечения

$$\theta = \frac{l}{h}(\varepsilon_p + \varepsilon_c) = \frac{\Delta l_p + \Delta l_c}{h}, \tag{3}$$

где Δl_p, Δl_c — удлинения наиболее удаленных волокон.

Из условия равновесия отсеченной части изгибаемого стержня имеем

$$\int_F \sigma\, dF = b\rho \int_{-\varepsilon_c}^{\varepsilon_p} f(\varepsilon)\, d\varepsilon = b\frac{l}{\theta}\left[\int_{-\varepsilon_c}^{0} f(\varepsilon)\, d\varepsilon + \int_0^{\varepsilon_p} f(\varepsilon)\, d\varepsilon\right] =$$

$$= b\frac{l}{\theta}\left[\int_{-\varepsilon_c}^{0} \sigma_c\, d\varepsilon_c + \int_0^{\varepsilon_p} \sigma_p\, d\varepsilon_p\right] = 0. \tag{4}$$

Соотношение (4) будет выполняться только при условии, если интегралы в квадратных скобках равны и противоположны по знаку, а они выражают площади диаграмм растяжения и сжатия соответственно. Значит, при пластическом изгибе площадь диаграммы растяжения равна площади диаграммы сжатия. Следовательно, приращения этих площадей будут одинаковыми, т. е.

$$\sigma_p\, d\varepsilon_p = \sigma_c\, d\varepsilon_c, \tag{5}$$

отсюда

$$\beta = \frac{\sigma_p}{\sigma_c} = \frac{d\varepsilon_c}{d\varepsilon_p} = \frac{d(\Delta l_c)}{d(\Delta l_p)}. \tag{6}$$

Таким образом, для определения напряжений σ_p по формуле (1) необходимо нагружать балку ступенчатой нагрузкой M. Измерив деформации Δl_p и Δl_c на каждой ступени нагрузки, по формуле (3) можно вычислить соответствующие углы поворота θ и построить кривую испытания $M - \theta$ (рис. 1).

Путем графического дифференцирования кривой $M - \theta$ для ряда точек A определяем величину $\theta\frac{dM}{d\theta}$ (из рис. 1 видно, что $\theta\frac{dM}{d\theta} = AC$). Далее по результатам измерений Δl_p и Δl_c строим кривую $\Delta l_p - \Delta l_c$ (рис. 2) и методом графического дифференцирования ряда точек a

находим отношения $\beta = \frac{d(\Delta l_c)}{d(\Delta l_p)} = \frac{ac}{bc}$. Подставляя полученные данные в формулу (1), вычисляем растягивающее напряжение σ_p и строим диаграмму растяжения в координатах $\sigma_p - \Delta l_p$ или $\sigma_p - \varepsilon_p$. Соответствующие величинам σ_p сжимающие напряжения σ_c вычисляются по соотношению (6)

$$\sigma_c = \frac{\sigma_p}{\beta}$$

и диаграмма сжатия материала строится аналогично диаграмме растяжения.

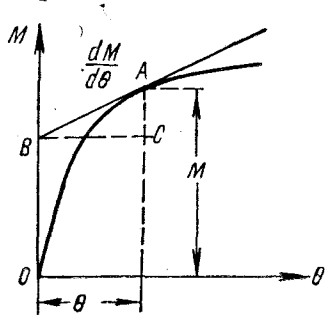


Рис. 1.

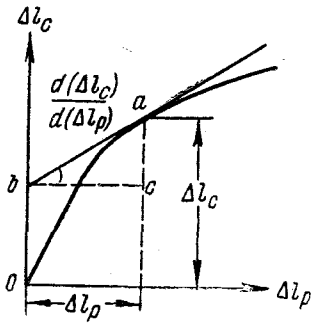


Рис. 2.

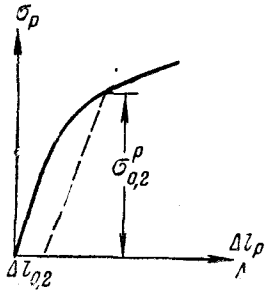


Рис. 3.

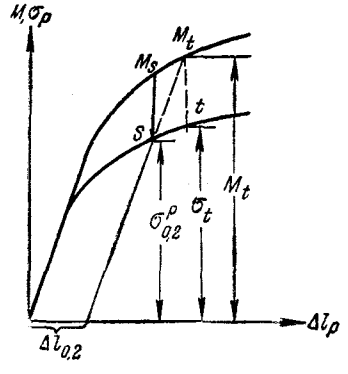


Рис. 4.

Допуск на остаточную деформацию для определения пределов текучести при чистом изгибе берется тот же, что и при осевом растяжении и сжатии $\varepsilon_{0,2} = 0{,}2\%$ или $\Delta l_{0,2} = 0{,}002$. Вследствие отмеченной выше особенности пластического изгиба пределы текучести при изгибе могут быть определены только по диаграмме растяжения или сжатия, как показано на рис. 3. Методика определения понятна из чертежа и не требует пояснений.

Если пределы текучести определять по диаграмме испытания $M-\theta$, беря допуски $\theta_{0,2} = \frac{\Delta l_{0,2} + \Delta l_c}{h}$ или $\theta_{0,2} = \frac{\Delta l_p + \Delta l_{0,2}}{h}$, то вследствие того, что при разгрузке остаточные напряжения понижают величину остаточных деформаций, получим завышенные пределы текучести. В этом

легко убедиться, если построить кривую испытания в координатах $M-\Delta l_p$ и на нее наложить диаграмму растяжения $\sigma_p - \Delta l_p$, подобрав масштабы так, чтобы упругие участки обеих кривых совпали. Тогда в пластической стадии деформации кривая M пойдет выше диаграммы σ_p. Отложив на оси деформаций допуск $\Delta l_{0,2} = 0{,}002l$, проведем прямую, параллельную упругому участку, получим точку S, ордината которой равна пределу текучести при растяжении $\sigma^p_{0,2}$, и точку M_t на кривой моментов, ордината которой M_t, хотя и соответствует тому же допуску $\Delta l_{0,2}$, но напряжение при этом изгибающем моменте равно σ_t, т. е. ординате точки t диаграммы растяжения. Как видно из рис. 4, напряжение $\sigma_t > \sigma^p_{0,2}$.

Следовательно, если для определения пределов текучести при изгибе использовать кривую изгибающих моментов, то, как показал Н. Н. Давиденков [4], получим завышенные пределы текучести.

Рассматриваемая в настоящей работе методика определения пределов текучести при изгибе применима для балок прямоугольного поперечного сечения с отношением высоты сечения к ширине $\frac{h}{b} \geqslant 3$.

Использованная литература

1. Тарасенко И. И. К вопросу о критериях пластичности и прочности материалов. Тезисы докладов XII научной конференции ЛИСИ, 1954.
2. Тарасенко И. И. и Тарасенко Е. Н. Условия хрупкой прочности материалов. Тезисы докладов XIII научной конференции ЛИСИ, 1955.
3. Надаи А. Пластичность. ОНТИ, 1936.
4. Давиденков Н. Н. Как определять предел текучести при изгибе и кручении. Заводская лаборатория, 1948, № 10.