

УДК 621.73

КРУЧЕНИЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗАГОТОВОК ИЗОТРОПНО – УПРОЧНЯЮЩИХСЯ МАТЕРИАЛОВ

Огородников В.А.

Вінницький національний технічний університет

Деревенько И.А.

Вінницький національний аграрний університет

Улановский В.М.

Киевский филиал "Оренда" страховой компании "GENERAL GARANT"

Отримано співвідношення між величиною крутного моменту і абсолютним кутом закручування в пластичній зоні ізотропно – зміцнюючихся матеріалів. Співвідношення враховують нелінійний закон зміцнення, запропонована формула перевірена експериментально. Відмічено задовільну відповідність розрахунку та експерименту.

Tryratio between the torque and the absolute angle of twisting of the plastic zone isotropic mitsnyuyuchyhsyamaterials. Valuetaking into account non-linear law strengthening the proposed formula is verified experimentally. Seen satisfactor compliance calculation and experiment.

В машиностроении разрабатываются и применяются наряду с традиционными видами обработки давлением (вытяжка, прокатка, осадка, обжим и другие) и нетрадиционные способы пластического формоизменения заготовок с целью придания необходимых эксплуатационных свойств элементам конструкций [1]. В связи с этим классическая задача теории пластичности, кручение цилиндрических стержней, может использоваться в сочетании с осадкой для разработки новых технологий в обработке давлением.

Целью данной работы является установление зависимости крутящих моментов от угла поворота при кручении изотропно – упрочняющихся материалов.

Пусть материал упрочняется по закону Людвига:

$$\sigma_i = A \varepsilon_i^n, \quad (1)$$

где:

$$\sigma_i = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2} \quad (2)$$

- интенсивность напряжений,

$$\varepsilon_i = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_1 - \varepsilon_3)^2} \quad (3)$$

- интенсивность деформаций.

Зависимость $\sigma_i = f(\varepsilon_i)$ принято считать в теории пластичности единой кривой течения материала, которая не зависит от вида напряженного состояния (гипотеза о единой кривой течения).

Коэффициенты аппроксимации в формуле (1) имеют физический смысл. Так коэффициент А – интенсивность напряжений при достижении интенсивности деформаций равной единице. $A = \sigma_i$ при $\varepsilon_i = 1$.

Коэффициент n в формуле (1) равен интенсивности деформаций $\varepsilon_i = n$ при максимальной нагрузке на условной диаграмме растяжения. Это утверждение справедливо

для изотропно – упрочняющихся материалов. Следуя теории пластичности Мизеса интенсивность касательных напряжений:

$$\tau_i = \frac{\sigma_i}{\sqrt{3}}, \quad (4)$$

а интенсивность сдвиговых деформаций:

$$\gamma_i = \varepsilon_i \sqrt{3}. \quad (5)$$

На рис.1 показана схема кручения цилиндрического образца. Угол φ – абсолютный угол закручивания, γ – угол сдвига, l – длина, d – диаметр образца.

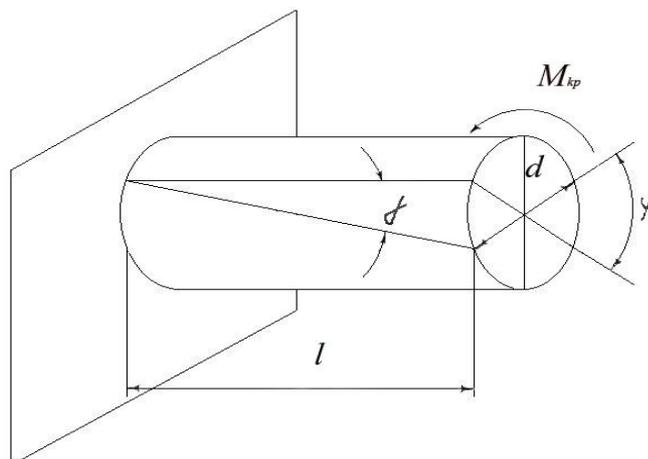


Рис.1.Схема кручения цилиндрического образца

Интенсивность деформаций при кручении [2]:

$$\varepsilon_i = \frac{tg \gamma}{\sqrt{3}}. \quad (6)$$

В упругой области крутящий момент:

$$M_{кр} = \int_F \tau \rho dF. \quad (7)$$

Если $\tau = \tau_i = \text{const}$ для идеально пластичного материала:

$$M_{кр} = \tau_i \frac{\pi d^3}{12}. \quad (8)$$

В области конечных деформаций:

$$M_{кр} = \int_F \tau(\gamma) \rho dF. \quad (9)$$

С учетом аппроксимации кривой течения выражением (1) получим:

$$M_{кр} = \frac{A}{\sqrt{3}} \left(\frac{\varphi d \pi}{2 l 180 \sqrt{3}} \right)^n \frac{\pi d^3}{12}. \quad (10)$$

В формуле (10) d – диаметр образца, подвергнутого кручению, l – длина образца.

Для экспериментальной проверки полученной формулы (10) изготовили цилиндрические образцы из стали 20 диаметром 10 мм и длиной рабочей части $l=70$ мм. Их закручивали на угол $\varphi = 180^\circ, 360^\circ, 540^\circ, 720^\circ, 900^\circ, 1050^\circ$ на испытательной машине КМ – 50. На рабочую поверхность образца наносили с помощью штангенциркуля продольную риску вдоль образующей цилиндра. Угол γ измеряли с помощью инструментального микроскопа.

Крутящий момент при каждом угле поворота φ отсчитывали на делительном устройстве машины КМ – 50

Таким образом были получены данные $M_{кр} = f(\varphi)$.

Мкр, Нм

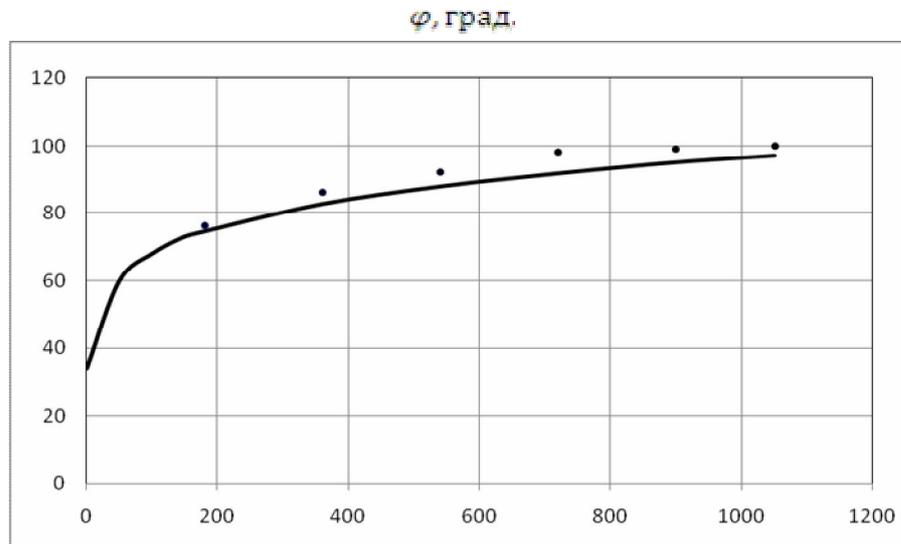


Рис. 2. Зависимость угла закручивания и крутящего момента цилиндрической заготовки стали 20.

На рис. 2 показан построенный график зависимости $M_{кр} = f(\varphi)$. Сплошная линия соответствует результатам расчета по формуле (10), круглыми точками отмечен эксперимент. Как следует из рис. 2 расхождение между результатами расчета по формуле (10) и экспериментом не превышает 6%.

Для построения кривой течения в области конечных деформаций испытывали цилиндрические образцы на сжатие размерами $h_0 = 15$ мм, $d_0 = 10$ мм. На боковую поверхность цилиндрических образцов вблизи среднего по высоте сечения наносили четыре отпечатка в виде ромба алмазной пирамидой. Подготовленный таким образом образец осаживали до разных степеней деформаций $\varepsilon_i = \ln \frac{h_0}{h_i} = 0,076 ; 0,080 ; 0,083 ; 0,087 ; 0,090 ; 0,13 ; 0,29 ; 0,31 ; 0,40 ; 0,57 ; 0,72 ; 1,06 ; 1,22 ; 1,43$ вплоть до появления видимых трещин, которые, как правило возникают на экваторе боковой поверхности.

Интенсивность деформаций для степени деформации, при которой не образуется бочкообразование:

$$\varepsilon_i = 2 \ln \frac{d_i}{d_0}, \quad (11)$$

интенсивность напряжений:

$$\sigma_i = \frac{P}{F_0 \exp(\varepsilon_i)} \quad (12)$$

При появлении «бочки» накопленная интенсивность деформаций:

$$\bar{\varepsilon}_i = \frac{2}{\sqrt{3}} \int_0^{\delta} \sqrt{\left(\frac{d\varepsilon_z}{d\delta}\right)^2 + \frac{d\varepsilon_z}{d\delta} \frac{d\varepsilon_\varphi}{d\delta} + \left(\frac{d\varepsilon_\varphi}{d\delta}\right)^2} d\delta, \quad (13)$$

где параметр $\delta = \frac{h_0 - h_i}{h_0}$ - характеризует стадию деформации цилиндра.

Если «бочка» незначительна, то:

$$\varepsilon_i = \frac{2}{\sqrt{3}} \sqrt{\varepsilon_z^2 + \varepsilon_r \varepsilon_\varphi + \varepsilon_\varphi^2}, \quad (14)$$

а интенсивность напряжений σ_i рассчитывают по (11).

В случае существенного бочкообразования:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_1 = \sigma_\varphi = \frac{2\sigma_i}{3\varepsilon_i} (\varepsilon_\varphi - \varepsilon_z) \\ \sigma_2 = \sigma_r = 0 \\ \sigma_3 = \sigma_z = \frac{2\sigma_i}{3\varepsilon_i} (\varepsilon_z - \varepsilon_r) \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

Интенсивность напряжений рассчитываем по формуле:

$$\sigma_i = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{\sigma_\varphi^2 + \sigma_z^2 - \sigma_\varphi \sigma_z} \quad (16)$$

В соотношениях (15) $\varepsilon_\varphi = \ln \frac{b_i}{b_0}$, $\varepsilon_z = \ln \frac{a_0}{a_i}$, $\varepsilon_r = \varepsilon_\varphi - \varepsilon_z$; a_0, a_i - размеры ромба нанесенного алмазной пирамидой по оси z вблизи экватора боковой поверхности цилиндра до и после осадки; b_0, b_i - размеры ромба нанесенного по окружности до и после осадки.

На рис. 3 показана кривая течения Стали 20, построенная по изложенной выше методике. Коэффициенты аппроксимации кривой $\sigma_i = f(\varepsilon_i)$, равны соответственно $A = 673$ МПа, $n = 0,15$.

Для упрощения использования полученных соотношений $M_{кр} = f(\varphi)$ указанную зависимость (см. рис. 2) аппроксимировали степенной функцией

$$M_{кр} = B\varphi^m, \quad (17)$$

где $m = 0,15$ – показатель степени, $B = 34$ Нм – значение крутящего момента при $\varphi = 1^0$ для стали 20.

σ_i , МПа

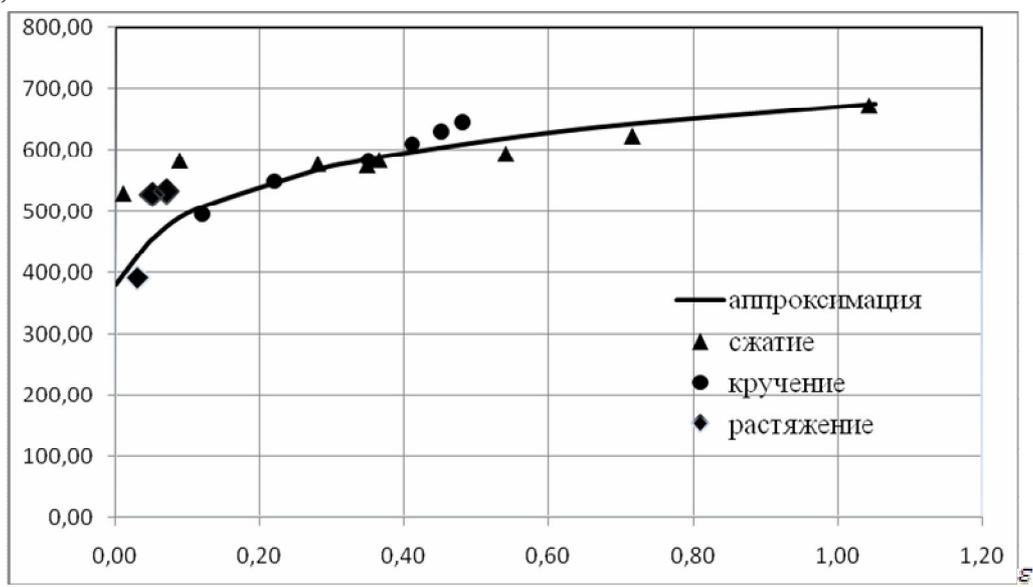


Рис. 3. Кривая течения стали 20

Выводы

Получена зависимость (10) крутящего момента от абсолютного угла закручивания изотропно – упрочняющихся материалов, для которых справедлива гипотеза о единой кривой течения в координатах σ_1 - интенсивность напряжений, ε_1 - интенсивность деформаций.

Предложенная зависимость может использоваться для расчета величины упрочнения валов пластическим деформированием в условиях кручения с растяжением (сжатием).

Литература

1. Берштейн М. Л. Термомеханическая обработка металлов и сплавов / М. Л. Берштейн . - М.: Металлургия, 1968, -Т.1 - 596 с.
2. Хван Д.В. Повышение эффективности в обработке металлов давлением. / Д. В. Хван. – Воронеж: Изд –во Воронежского университета, 1995. - 224 с.
3. Огородников В. А. Оценка деформируемости металлов при обработке давлением / В. А. Огородников. - К.: Вища шк., 1983 – 175 с.