

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.

Tryratiobetweenthetorqueandtheabsoluteangleoftwistingoftheplasticzoneisotropic mitsnyuyuchyhsyamaterials. Valuetakingintoaccount non-linearlawstrengtheningtheproposedformulaisverifiedexperimentally. 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.

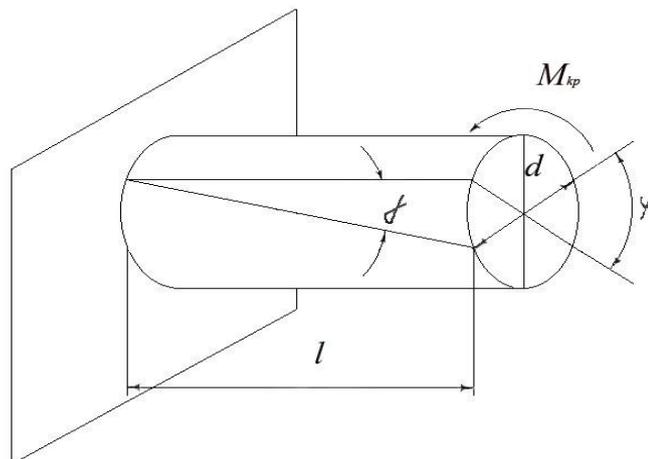


Рис.1.Схема кручения цилиндрического образца

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

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

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 $M_{кр} = f(\varphi)$.

$M_{кр}$, Нм

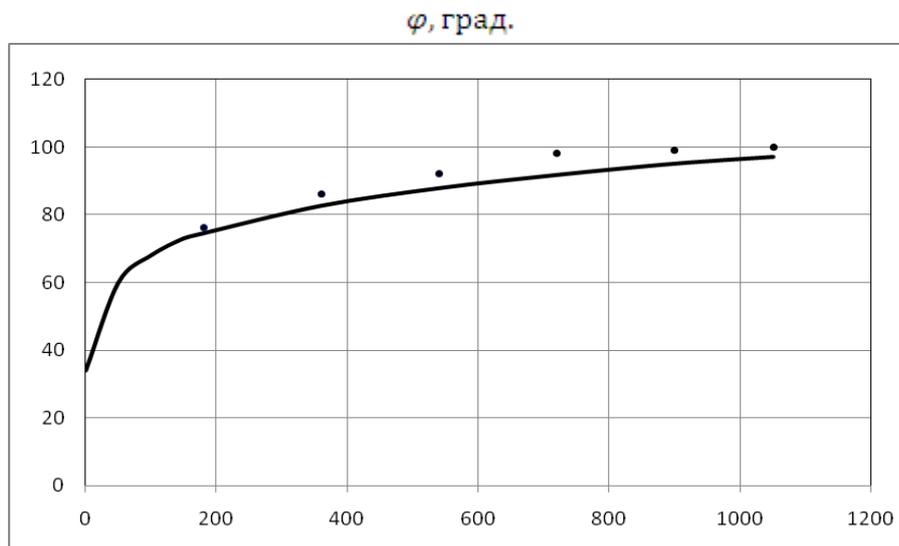


Рис. 2. Зависимость угла закручивания и крутящего момента цилиндрической заготовки стали 20.

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:

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

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.

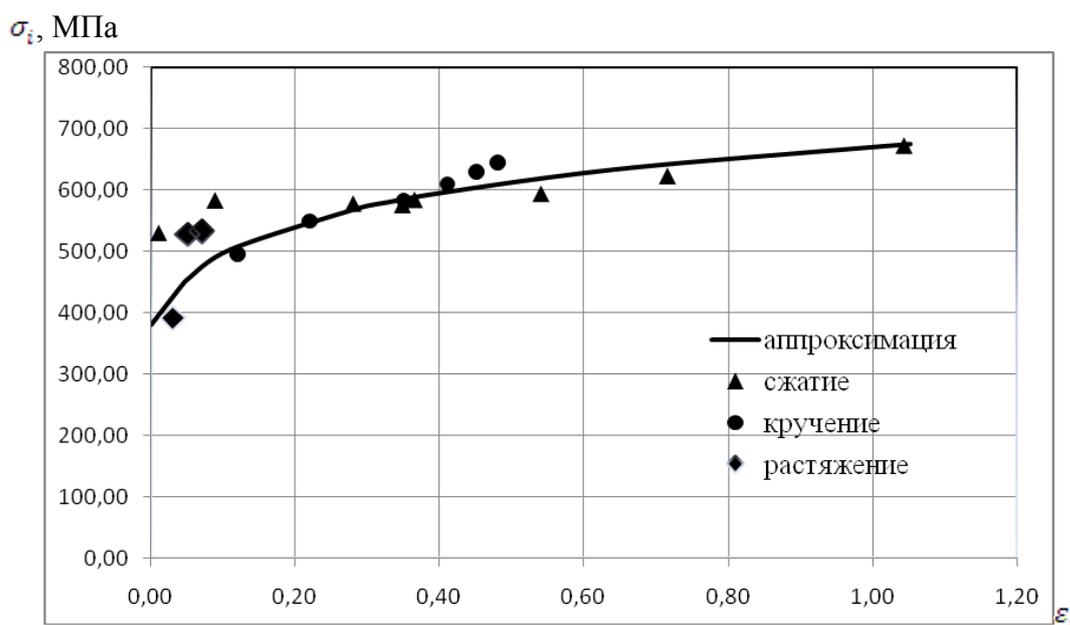


Рис. 3. Кривая течения стали 20

Выводы

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