

УДК 621.735.32

Хван А. Д.
Евдокимова Н. А.**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТРЕБНОЙ МОЩНОСТИ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ОСАДКИ
С КРУЧЕНИЕМ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗАГОТОВОК**

В последние десятилетия интенсивно разрабатываются технологии для повышения эксплуатационных свойств элементов конструкции на основе термомеханической обработки (ТМО) [1]. При этом как показали исследования [2, 3] высокоэффективным является использование в качестве пластической обработки осадка с кручением обеспечивающее в условиях ТМО наибольшее повышение прочности, износостойкости и стойкости (инструментов).

Для реализации процесса осадки с кручением цилиндрических плоских заготовок важным является расчет потребной мощности, знание которой необходимо для проектирования соответствующего прессового оборудования [4, 5].

Целью настоящей работы является получение решения задачи по определению указанной мощности при деформировании заготовки из упрочняющегося материала при комнатной температуре.

На рис. 1 представлена схема осадки с кручением заготовки 1 в цилиндрической системе координат z , ρ , φ , согласно которой последняя деформируется перемещением жесткой нагружающей плиты (пуансона) 2 со скоростью V по оси z и вращением с угловой скоростью ω относительно этой оси.

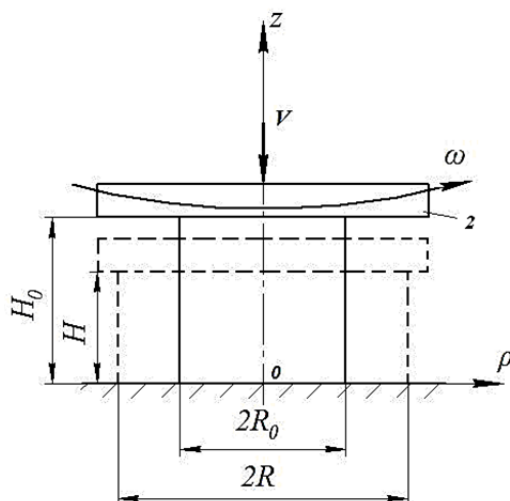


Рис. 1. Схема осадки с кручением заготовки

Здесь H_0 , H — исходная и текущая высоты заготовки; R_0 , R — исходный и текущий радиусы заготовки.

На основе кинематического анализа и уравнений состояния в соответствии с теорией течения [6] получены соотношения для расчета нормального σ_z и касательного τ напряжений [7]:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_r &= \sigma_0(e) \cdot \Delta^{-1}; \\ \tau &= \sigma_0(e) \frac{\gamma(1-\varepsilon)}{3R\varepsilon} \cdot \Delta^{-1} \cdot \rho. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Здесь σ_0 — интенсивность напряжений;

ε — относительная деформация осадки;

ρ – расстояние от оси z до рассматриваемой точки в поперечном сечении заготовки;

γ – угловая деформация в произвольной точке сечения, $\Delta = \sqrt{1 + \frac{1}{3} \frac{\gamma(1-\varepsilon)}{R\varepsilon}} \rho$;

$e = \ln \frac{1}{1-\varepsilon} \cdot \Delta$ – накопленная деформация.

Деформирующие нагрузки – сила сжатия P и скручивающий момент M согласно статическим уравнениям равновесия будут равны:

$$P = 2\pi \int_0^R \sigma_z \rho d\rho; \quad M = 2\pi \int_0^R \tau \rho^2 d\rho. \quad (2)$$

Тогда с учетом соотношений (1) эти нагрузки будут определяться по следующим формулам:

$$\left. \begin{aligned} P &= 2\pi \int_0^R \sigma_0(e) \Delta^{-1} \rho d\rho; \\ M &= \frac{2\pi}{3} \int_0^R \sigma_0(e) \Delta^{-1} \frac{\gamma(1-\varepsilon)}{R\varepsilon} \rho^3 d\rho. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Потребная мощность для обработки заготовки может быть определена согласно законам механики по соотношению:

$$N = PV + M\omega. \quad (4)$$

Тогда с учетом уравнений (3) это уравнение можно записать в виде:

$$N = 2\pi \left[V \int_0^R \sigma_0(e) \Delta^{-1} \rho d\rho + \frac{\omega}{3} \int_0^R \sigma_0(e) \Delta^{-1} \frac{\gamma(1-\varepsilon)}{R\varepsilon} \rho^3 d\rho \right]. \quad (5)$$

Относительную и угловую деформацию можно выразить как функцию соответственно линейной (V) и угловой (ω) скоростей:

$$\varepsilon = \frac{Vt}{H_0}; \quad \gamma = \frac{\omega t}{H_0 - Vt} \rho. \quad (6)$$

Здесь t – время деформирования;

$Vt = \Delta H$ – изменение высоты заготовки.

Если принять коэффициент, определяющий отношение угловой скорости к линейной:

$$\beta = \frac{\omega}{v}, \quad (7)$$

то уравнение (6) запишется в виде:

$$\gamma = \frac{\beta V t}{H_0(1-\varepsilon)}. \quad (8)$$

Значение Δ в уравнениях (1) с учетом выражений (6) и (7) будут определяться по следующей формуле:

$$\Delta = \sqrt{1 + \frac{\beta^2(1-\varepsilon)\varepsilon^2}{3R_0^2}} \rho^4. \quad (9)$$

При выводе этой формулы учтено, что текущий радиус заготовки равен:

$$R = R_0 \sqrt{\frac{1}{1-\varepsilon}}. \quad (10)$$

В выражениях (1), (3) и (5) интенсивность напряжений можно с целью удобства счета на ЭВМ представить в виде аппроксимации А. Надаи:

$$\sigma = A e^n, \quad (11)$$

где A , n – характеристики материала, определяемые статистической обработкой опытной кривой течения.

Окончательно уравнение мощности (5) с учетом всех приведенных соотношений можно записать в виде:

$$N = V 2\pi A \left(\ln \frac{1}{1-\varepsilon} \right)^n \left[\int_0^R \Delta^{n-1} \rho d\rho + \frac{\beta^2 \sqrt{1-\varepsilon}}{3R_0} \cdot \int_0^R \Delta^{n-1} \rho^4 d\rho \right]. \quad (12)$$

В качестве примера расчета потребной мощности при отработке заготовки размером $\varnothing 100$ мм из инструментальной стали X12M ($A = 1810$ МПа, $n = 0,35$ [8]). Пусть линейная скорость перемещения нагруженной плиты $V = 1$ мм/сек, а $\beta = 0, 0,015, 0,030, 0,045$ 1/мм.

На рис. 2 представлены графики изменения мощности N в зависимости от относительной деформации осадки ε .

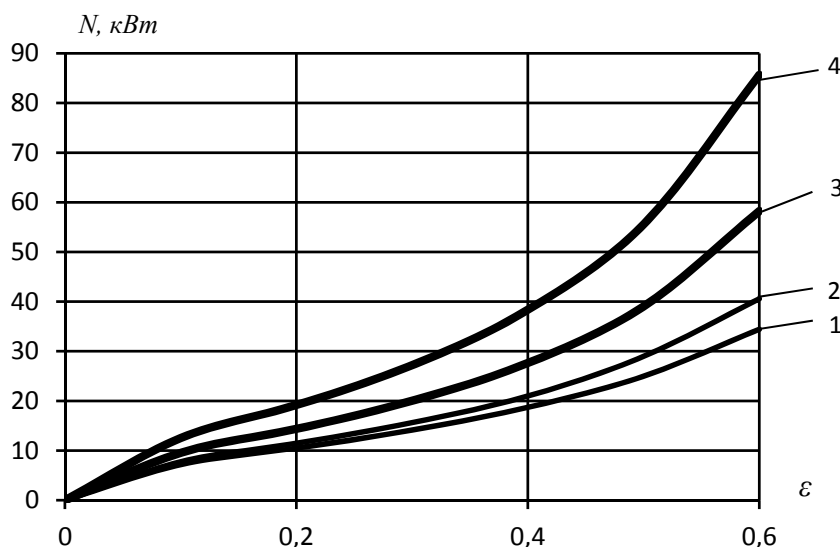


Рис. 2. Графики изменения мощности N в зависимости от относительной деформации осадки ε для различных значений коэффициента β :

1 – 0; 2 – 0,015; 3 – 0,030; 4 – 0,045

Из рисунка следует, что потребляемая мощность для реализации процесса пластической обработки монотонно возрастает с увеличением степени осадки и угла закручивания заготовки. Например, при $\varepsilon = 0,5$ $N = 25$ кВт ($\beta = 0$); $N = 28$ кВт ($\beta = 0,015$); $N = 38$ кВт ($\beta = 0,030$); $N = 55$ кВт ($\beta = 0,045$). Результаты расчета мощностей N получены для линейной

скорости движения нагружающей плиты прессы (или нагружающего пуансона) $V = 1 \frac{\text{мм}}{\text{сек}}$. Если же потребуется определять мощность при других скоростях, то необходимо все значения ординат на указанном рисунке увеличить на величину этой скорости.

При указанной выше относительной деформации максимальный сдвиг на поверхности заготовки согласно формуле (6) и указанных значениях коэффициента β равен соответственно 0, 1,06, 2,12, 3,18, а максимальная накопленная деформация согласно выражениям (1) и (9) составит соответственно – 0,693, 0,725, 0,813, 0,941.

Таким образом, значение требуемой мощности для реализации пластической обработки заготовок позволит провести силовой расчет всех основных элементов прессы, а также установить мощность электродвигателя его привода $N_{эл}$, которую можно рассчитать по формуле:

$$N_{эл} = \frac{N}{\eta_1 \eta_2}, \quad (13)$$

где η_1, η_2 – соответственно КПД всех кинематически связанных элементов прессы и привода.

ВЫВОДЫ

На основе решения задачи по осадке с кручением цилиндрической заготовки получено соотношение для определения потребной мощности для реализации указанной пластической обработки. Полученные значения необходимы для силового расчета основных элементов прессы и его привода.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бернштейн Л. М. *Термомеханическая обработка металлов и сплавов* / Л. М. Бернштейн. – М. : Металлургия. 1985. – 117 с.
2. Хван Д. В. *Повышение стойкости инструментов осадкой с кручением* / Д. В. Хван, А. В. Токарев // *Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением*. – 2002. – № 11. – С. 44–46.
3. Токарев А. В. *Разработка процессов и определение параметров осевого инструмента на основе пластической деформации* : дис. канд. техн. наук / А. В. Токарев. – Воронеж, 2006. – 160 с.
4. Хван А. Д. *Пресс для комбинированного нагружения при обработке металлов давлением* / А. Д. Хван, П. М. Панин // *Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением*. – 2011. – № 10. – С. 36–39.
5. Пат. 2252269 РФ, МПК⁷ C21D007/00, C21D009/22, C21D008/00. *Способ улучшения свойств инструментальной стали* / Токарев А. В., Хван Д. В. и др. ; заявитель и патентообладатель Воронежский государственный технический университет. – № 2004100752/02 ; заявл. 08.01.2004 ; опубл. 20.05.2005, Бюл. № 14.
6. Качанов Л. М. *Основы теории пластичности* / Л. М. Качанов. – М. : Физметгиз, 1970. – 420 с.
7. *Технологические задачи пластического кручения* / Хван Д. В., Хван А. Д., Воропаев А. А., Амрахов И. Г. – Воронеж : ВГТУ, 2002. – 158 с.
8. Хван Д. В. *Повышение эффективности в обработке металлов давлением* / Д. В. Хван. – Воронеж : ВГТУ, 1995. – 224 с.

Хван А. Д. – канд. техн. наук, доц. ВГТУ;

Евдокимова Н. А. – аспирант ВГТУ.

ВГТУ – Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Россия.

E-mail: tpm@vorstu.ru

Статья поступила в редакцию 03.03.2012 г.