Дудников А. А.

Беловод А. И.

Келемеш А. А.

Семчук Г. И.

Полтавская государственная аграрная академия

УДК 621.9 – 621.98

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ И УСИЛИЙ ПРИ ПЛАСТИЧЕСКОМ ДЕФОРМИРОВАНИИ

Розглянуті питання використання математичної теорії пластичності при визначенні деформацій матеріалу відновлюваних деталей та зусилля.

The problems of the mathematical theory of plasticity changes in the determination of the deformation of the material recovered parts.

Основные задачи в области обработки металлов давлением – придание материалу обрабатываемой детали требуемой формы, размеров и определённых физико-механических свойств, обеспечение наивысшей пластичности и тем самым максимальной деформации, необходимой для компенсации износа, полученного в процессе эксплуатации машин.

Для увеличения производительности технологических процессов, характеризующихся последовательностью и непрерывностью действия обрабатывающего инструмента, следует повышать скорость деформирования, степень деформации за проход.

Математическая теория пластичности тесно связана с теорией упругости.

Свойства деформируемого тела сильно изменяются как при больших пластических деформациях, так и от применяемой технологии обработки [1].

В процессе горячего деформирования деталей при относительно большом отношении их геометрических параметров возникает опасность снижения продольной устойчивости. При деформировании в холодном состоянии наблюдается угроза как неравномерности протекания деформации, так повреждения обрабатываемой детали или обрабатывающего инструмента. Эти вопросы особенно при обработке деталей, таких как поршневые пальцы, втулки верхних головок шатунов автотракторных двигателей, втулки и пальцы звеньев гусениц, рабочие органы почвообрабатывающих машин изучены недостаточно [2].

Рассмотрим осадку образцов цилиндрической формы. Для нормального протекания процесса пластического деформирования, исключающего изгиба обрабатываемого образца необходимо выполнение следующего условия:

$$P_1 > P_2, \quad (1)$$

где P_1 – усилие, при котором начинается продольный изгиб, кН; P_2 – усилие, достаточное для пластического деформирования, кН.

Усилие P_1 может быть определено следующей зависимостью:

$$P_1 = \pi^2 EF / \lambda^2, \quad (2)$$

где E – модуль упругости, Н/мм^2; F – площадь поперечного сечения, мм^2; λ – показатель относительной устойчивости деформируемого образца равный:

$$\lambda = l / i_{\min}, \quad (3)$$

где $l = L_0 / 2$ – относительная длина образца; L_0 – исходная длина образца, мм.

Для пустотелого цилиндрического сечения образца параметр $i_{\min}$ – можно определить из уравнения:

$$i_{\min} = \frac{\sqrt{D_н^2 + D_в^2}}{4}. \quad (4)$$

Отсюда

$$\lambda = \frac{2L_0}{\sqrt{D_н^2 + D_в^2}}. \quad (5)$$

Если принять, что:

$$D_в = D_{ср} - \delta_0; \; D_н = D_{ср} + \delta_0, \quad (6)$$

где D_{cp} – средний диаметр образца, мм; δ_0 – толщина стенки образца, тогда формула (5) примет вид:

$$\lambda = \frac{\sqrt{2}L_0}{\sqrt{D_{cp}^2 + \delta_0^2}}. \quad (7)$$

Обозначит отношение $\alpha = D_{cp} / \delta_0$ и введем его в формулу (7).

Тогда

$$\lambda = \frac{\sqrt{2}L_0}{D_{cp}\sqrt{1+1/\alpha^2}}. \quad (8)$$

Из выражения (8) находим:

$$L_0 / D_{cp} = (\lambda / 2) \cdot \sqrt{1+1/\alpha^2}. \quad (9)$$

В соответствии со схемой деформирования величину эксцентриситета e можно представить как разность толщины стенок втулки до и после обработки:

$$e = \delta_н - \delta_0. \quad (10)$$

Для пальца величина эксцентриситета равна размерности между внутренним диаметром D пальца и меньшим диаметром d конического обрабатывающего инструмента.

На основании равенства объёмов образца до и после формирования можно записать:

$$\pi D_{cp} \cdot \delta_0 \cdot D_{cp} \cdot n = \pi D_{cp} \cdot \delta_к \cdot D_{cp} \cdot m, \quad (11)$$

где $n = L_0 / D_{cp}$, $m = L_к / D_{cp}$.

Отсюда

$$\delta_к = \delta_0 n / m = \delta_0 \cdot \beta. \quad (12)$$

Подставляя полученное выражение (12) в уравнение (10), находим:

$$\delta_0 \beta - \delta_0 = D_{cp} / \pi + \delta_0^2 / 3\pi D_{cp}. \quad (13)$$

Подставив $D_{cp} = \delta_0 \alpha$, получим:

$$\delta_0(\beta - 1) = \delta_0 \alpha / \pi + \delta_0 / 3\pi\alpha. \quad (14)$$

Отсюда

$$\beta \le \alpha / \pi + 1 + 1/3\pi\alpha. \quad (15)$$

Для практических расчётов последний член правой части равенства (15) можно не учитывать.

Тогда

$$\beta = n / m \le \alpha / \pi + 1. \quad (16)$$

Данное уравнение позволяет определить предельные возможности деформирования пустотелых цилиндрических деталей и правильно выбрать соответствующие размеры деформирующего инструмента.

При разработке технологических процессов восстановления деталей сельскохозяйственной техники необходимо знать силовые условия, возникающие при выполнении пластической деформации. Полное усилие деформации позволяет обоснованно выбирать технологическое оборудование, так как при этом появляется возможность определять рабочие напряжения в материале деталей и затраты энергии на деформацию.

Для успешного решения задач по разработке новых технологических процессов и интенсификации существующих также нужно знать суммарное усилие на инструмент для анализа самого процесса обработки, выявления характера распределения внутренних сил в деформируемом материале детали, что позволит уменьшить вероятность нарушения сплошности деформируемого материала.

Деформирующая сила может передаваться обрабатываемой детали или её части как непосредственно через контактные поверхности инструмента (прессование, осадка, раздача и др.), так и через примыкающие к области деформации пластически не обрабатываемые в данный момент участки тела (волочение, вытяжка и др.)

Для определения суммарного деформирующего усилия необходимо прежде всего знать удельные усилия и силы трения, а также характер их распределения на контактной поверхности обрабатывающего инструмента.

В условиях процесса раздачи или осадки суммарное вертикальное усилие P определяется произведением удельного усилия p и проекции поверхности соприкосновения металла с инструментом на горизонтальную плоскость F_x:

$$P = p \cdot F_x. \quad (17)$$

Если на контактной поверхности удельное усилие принять постоянным, то определение суммарного усилия деформирования не вызывает затруднений, так как определение проекции контактной поверхности не вызывает трудностей.

В случае, когда удельное усилие не может быть принято неизменным в силу значительной разницы в отдельных точках контактной поверхности, полное усилие деформации определяется суммированием удельного усилия по всей контактной поверхности:

$$P = \int_F px \cdot dF_x. \quad (18)$$

Численные значения удельных усилий могут быть получены опытным путём или расчётом с использованием аналитических методов. Опытные значения удельного усилия обычно определяются как отношение полного усилия материала на инструмент к проекции контактной поверхности на плоскость, перпендикулярную силе P.

Деформирующие усилия могут быть определены методом совместного решения приближённых уравнений равновесия и уравнений пластичности, который во многих случаях вполне удовлетворяет требованиям практики. При резко выраженной неоднородности деформации тело разделяют на элементарные объёмы, чтобы в каждом из них напряжённо-деформированное состояние можно было принять плоским или осесимметричным.

В этом случае суммарное деформирующее усилие для единицы длины обрабатываемого тела может быть определено интегрированием элементарных усилий по всей ширине:

$$P = 2\sigma_T \int_0^b e^{(f/h)(b-x)} dx, \quad (19)$$

где h и b – соответственно высота и ширина обрабатываемого тела; x – расстояние бесконечно малого элемента деформируемого тела от начала координат; σ_T – предел текучести обрабатываемого материала; f – коэффициент контактного трения между обрабатываемой поверхностью детали и поверхностью обрабатывающего инструмента.

Коэффициент контактного трения при всестороннем сжатии (осадке) может быть определён:

$$f_{\max} = \frac{\beta \sigma_s}{\sigma_1}, \quad (20)$$

где

$$\beta = \frac{2}{\sqrt{3 + \xi_\sigma^2}}, \quad (21)$$

где ξ_σ – тензор напряжений, равный:

$$\xi = \frac{\sigma_2 - \dfrac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}}{\dfrac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}}, \quad (22)$$

где $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – величины главных нормальных напряжений в направлении координатных осей.

Значения коэффициента трения, подсчитанные по зависимости (20), приведены в табл. 1.

Таблица 1

Значения коэффициента трения

Амплитуда колебаний обрабатывающего инструмента *А*, мм	Коэффициент трения	
	Вибрационное деформирование	Обычное деформирование
0,25	0,497	0,678
0,5	0,309	
0,75	0,518	

Теоретическими исследованиями установлено, что при вибрационном деформировании коэффициент трения между поверхностями обрабатываемой детали и обрабатывающего инструмента снижается в 1,95 – 2,19 раза. Это, в свою очередь, способствует повышению упрочнения обрабатываемой поверхности восстанавливаемой детали.

Литература

1. Дзугутов М. Я. Напряжения и деформации при обработке металлов давлением / М. Я. Дзугутов. – М.: Металлургия, 1974. – 280 с.

2. Дудников А. А. К вопросу определения усилий деформирования при обработке давлением / А.А. Дудников, А.В. Канивец, В.В. Дудник, А.А. Келемеш // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. «Ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладнання у ремонтному виробництві». – Харків: 2011. – Вип. 110. – С. 25-29.