

УДК 621.73.042

Хван А. Д.
Хван Д. В.
Евдокимова Н. А.

ПЛАСТИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ СЖИМАЕМЫХ ПЛАСТИН

В обработке металлов давлением всегда придается важное значение разработкам инновационных технологий для улучшения эксплуатационных свойств различных элементов конструкций. В связи с этим актуальным для промышленности является повышение стойкости инструментов в виде концевых мерительных плиток малой толщины 1...5 мм на основе технологий предварительной термомеханической обработки (ПТМО) [1–3]. Однако, при реализации ПТМО применительно к мерительным плиткам осуществить практически пластическую деформацию в режиме осадки невозможно из-за искривления плоских заготовок при их обработке. Таким образом, возникает важная для инструментальной промышленности задача осадки тонких плоских заготовок в форме пластин.

Целью работы является исследование устойчивости пластин при их осадке для разработки способа сжатия пластин до больших степеней деформации для искривления.

В статье рассматривается пластическая устойчивость сжатия тонкой пластины на основе критерия положительности работы добавочных нагрузок для определения поперечной поддерживающей нагрузки, препятствующей изгибу пластины. При этом получена формула для расчета указанной нагрузки, знание которой необходимо при определении оптимальных размеров штамповой оснастки для осадки плоских заготовок. Рассматривается также конструкция штампа с клиновым механизмом для осадки пластины. Получены соотношения для расчета оптимального значения угла клина, обеспечивающего сжатие пластины в условиях линейного напряженного состояния.

Для разработки инновационных технологий механотермической обработки с целью улучшения эксплуатационных свойств инструментов и для определения характеристик сопротивления пластическому деформированию листовых материалов возникает необходимость пластической осадки плоских заготовок размером $l_0 \times b_0 \times t_0$ (высота \times ширина \times толщина) в условиях линейного напряженного состояния. Такого рода пластическую обработку можно реализовать в специальном штампе [4], в котором благодаря клиновому механизму можно осаживать плоскую заготовку без потери устойчивости. Однако для назначения оптимальных значений геометрических параметров штампа необходимо знать поперечную поддерживающую нагрузку на заготовку, препятствующую изгибу последней.

Основной задачей исследования является определение на основе критерия положительности работы добавочных нагрузок [5] поддерживающей силы, препятствующей искривлению плоской заготовки. На рис. 1 показана схема осадки заготовки 1 силой P через плиту 2 в системе координат $z - y$. Здесь сплошной линией показана искривленная ось заготовки в момент начала ее искривления с наибольшим значением прогиба y_0 , а Q – поддерживающая нагрузка. Для рассматриваемого случая сжатия плоского образца указанный критерий пластической устойчивости можно записать в виде:

$$dP \cdot dl - dQy_0 \cdot \mu = 0. \quad (1)$$

Здесь μ – коэффициент, учитывающий условия крепления сжимающегося стержня, как и в случае сжатия упругих стержней [6]. В рассматриваемом случае $\mu = 2$, так как концевые сечения пластины (см. рис. 1) не имеют возможности поворачиваться.

В соотношении (1) можно считать, что сжимающая сила равна:

$$P = \sigma_0(e)bt, \quad (2)$$

а поперечная нагрузка:

$$Q = qb. \quad (3)$$

Здесь $\sigma_0(e)$ – интенсивность напряжений, где e – логарифмическая деформация; q – интенсивность распределенной по ширине образца поддерживающей нагрузки; b, t – текущие ширина и толщина образца.

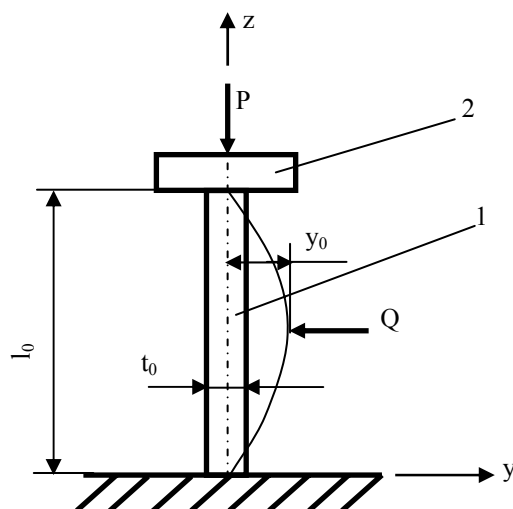


Рис. 1. Схема осадки пластины

Интенсивность напряжений можно определить по формуле А. Надаи:

$$\sigma_0(e) = Ae^n, \quad (4)$$

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

При выполнении расчетов бывает удобным использовать вместо логарифмической деформации относительную деформацию ε . Тогда соотношение (4) можно записать в виде:

$$\sigma_0(e) = A[\ln(1 - \varepsilon)]^n. \quad (5)$$

Текущие размеры осаживаемого образца можно, как показывают расчеты, с достаточно высокой степенью точности определять по соотношениям:

$$l = l_0(1 - \varepsilon); \quad b = b_0\left(1 + \frac{\varepsilon}{2}\right); \quad t = t_0\left(1 + \frac{\varepsilon}{2}\right). \quad (6)$$

Величину максимального прогиба в момент потери устойчивости образца нами предлагается оценивать по формуле:

$$y_0 = dl = l_0 d\varepsilon. \quad (7)$$

Приращение сжимающей силы приближенно можно считать равным:

$$dP = d\sigma_0(\varepsilon)tb.$$

Приращение поперечной поддерживающей нагрузки определяем согласно выражению (3) по приближенному соотношению:

$$dQ = dqb. \quad (8)$$

Решением уравнения (1) с учетом всех представленных соотношений получим формулу для расчета поддерживающей нагрузки Q :

$$Q = \frac{Ant_0b_0}{4} \left(1 + \frac{\varepsilon}{2}\right) \cdot J. \quad (9)$$

Здесь $J = \int_0^{\varepsilon'} \frac{[\ln(1-\varepsilon)]^n \cdot \left(1 + \frac{\varepsilon}{2}\right)}{\ln(1-\varepsilon) \cdot (1-\varepsilon)} d\varepsilon$, где ε' – предел интегрирования, равный относительной деформации заготовки.

По величине этой нагрузки, взаимосвязанной с конструктивными размерами соответствующей технологической оснастки, можно установить оптимальные значения последних.

В качестве примера рассматривается осадка пластины размером $30 \times 15 \times 3$ мм из стали 20 ($A = 760$ МПа, $n = 0,22$ [7]). На рис. 2 представлен график изменения поддерживающей нагрузки Q в зависимости от относительной деформации ε . Из рис. 2 следует, что с увеличением степени деформации осадки пластины поддерживающая нагрузка Q монотонно возрастает.

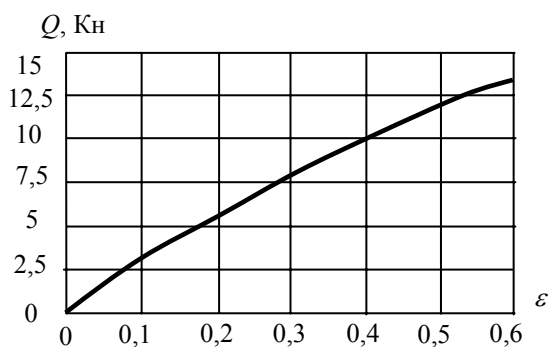


Рис. 2. График изменения поддерживающей нагрузки

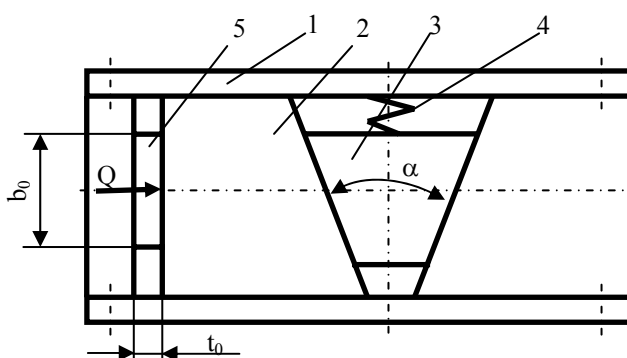


Рис. 3. Конструктивная схема штампа для осадки пластины

На рис. 3 представлена конструктивная схема штампа (вид сверху) для осадки пластины. Штамп состоит из следующих основных элементов: корпус 1, подвижный поддерживающий подпор 2, клин 3 с углом α и упругий элемент 4, установленный между клином и стенкой корпуса. Пластина 5 устанавливается без зазора между подпором 2 и опорной стенкой корпуса. При этом для осадки пластины между нагружающей плитой 2 (см. рис. 1) и торцевыми поверхностями корпуса и подпора 2 должен быть зазор, соответствующий высоте выступающей из корпуса части пластины и равный $\sim 2t_0$.

Штамп работает следующим образом. Под действием сжимающей силы P (см. рис. 1) пластина будет увеличиваться в размере по толщине, стремясь при этом сдвинуть подпор 2, который благодаря клиновому механизму будет перемещаться вправо (см. рис. 3), а клин 3, преодолевая силу сопротивления упругого элемента 4 – в направлении от вершины угла клина. Значение угла α должно быть таким, чтобы в осаживаемой пластине реализовалось линейное напряженное состояние.

Поддерживающую поперечную нагрузку Q можно рассматривать как реакцию на воздействие пластины при её искривлении на подпор 2.

После осадки пластины на величину деформации $\sim 2t_0$ производится полная разгрузка, далее под пластину на опорную поверхность штампа устанавливается дополнительно подкладка толщиной $\sim 2t$, чтобы продолжить процесс осадки пластины. Цикл полной разгрузки и установки дополнительной подкладки указанной толщины в штампе повторяется до тех пор, пока деформация осадки пластины не достигнет заданной величины.

На основе анализа действующих в клиновом механизме сил получим следующее уравнение:

$$Q \sin \alpha - \frac{t_0 \varepsilon}{2} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \cdot c - 2fQ \cos^2 \frac{\alpha}{2} = 0. \quad (10)$$

Здесь c – коэффициент податливости упругого элемента 4; f – коэффициент трения в клиновой паре. Из анализа соотношений (9) и (10) следует, что по мере увеличения степени деформации пластины угол клина α будет меняться. Таким образом, чтобы пластина осаживалась в условиях линейного напряженного состояния, необходимо в штампе предусмотреть изменение угла α в связи с увеличением поддерживающей нагрузки Q , что существенно усложняет конструкцию соответствующей технологической оснастки. В связи с этим для обеспечения постоянного значения угла α можно, не усложняя устройство штампа, использовать упругий элемент 4 с заданным коэффициентом податливости c , определяемым по соотношению:

$$c = \frac{2Q \left[\sin \alpha - 4f \cos^2 \frac{\alpha}{2} \right]}{\varepsilon t_0 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}. \quad (11)$$

Из этого соотношения следует, что значение коэффициента c будет монотонно увеличиваться в связи с коэффициентом нагрузки Q (см. (9)).

При этом в качестве упругого элемента можно использовать в штампе, например пружину сжатия с необходимыми характеристиками.

ВЫВОДЫ

На основе критерия продолжительности работы добавочных нагрузок получено соотношение для расчета поперечной поддерживающей нагрузки, препятствующей искривлению плоского образца при его пластическом сжатии. Знание указанной нагрузки необходимо для расчета оптимальных размеров штамповой оснастки для реализации рассмотренного процесса пластического деформирования. Предложена конструкция штампа для осадки пластины.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бернштейн М. Л. Термомеханическая обработка металлов и сплавов. Т. 2 / М. Л. Бернштейн. – М. : Металлургия, 1988. – 489 с.
2. Хван Д. В. Влияние механотермической обработки на стойкость инструмента / Д. В. Хван, А. В. Токарев // *Машиностроитель* – 2007. – № 2. – С. 43–45.
3. Хван А. Д. Влияние механотермической обработки на снижение балла карбидной неоднородности инструментальной стали / А. Д. Хван, А. В. Попов, А. В. Токарев // *Кузнечно-штамповочное производство ОМД*. – 2008. – № 7. – С. 29–30.
4. Патент РФ №2128034 «Устройство для испытания образцов листового материала». Бюл. № 26 от 20.09.1999 г.
5. Дель Г. Д. Технологическая механика / Г. Д. Дель. – М. : Машиностроение, 1976. – 188 с.
6. Феодосьев В. И. Сопротивление материалов / В. И. Феодосьев. – М. : Наука, 1986. – 505 с.
7. Хван Д. В. Повышение эффективности в обработке металлов давлением / Д. В. Хван. – Воронеж. : Изд-во Воронежского государственного университета, 1995. – 224 с.

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

Хван Д. В. – д-р техн. наук, проф. ВГТУ;

Евдокимова Н. А. – студент ВГТУ.

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

E-mail: tpm@vorstu.ru