

УДК 621.73

Кухарь В. В.
Бурко В. А.
Данилова Т. Г.

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАСЧЕТ ЭНЕРГОСИЛОВЫХ РЕЖИМОВ ОСАДКИ ВЫПУКЛЫМИ ПЛИТАМИ В РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЯХ КОВКИ И ШТАМПОВКИ

В современной металлообрабатывающей отрасли особенно остро стоят задачи энергоресурсосбережения и обеспечения конкурентоспособности продукции на внутреннем и внешнем рынках. Решение данных задач неразрывно связано с совершенствованием технологических процессов кузнечно-штамповочного производства, обеспечивающих экономию металла, повышением качества и экологичности изделий машиностроения и перспективами увеличения внутреннего потребления продукции металлургических предприятий.

В работах [1–3] отмечена целесообразность введения операции осадки выпуклыми продолговатыми плитами слитков или заготовок близких к цилиндрической форме в технологиях изготовления поковок типа пластин. Такой способ предварительного формообразования является эффективным с точки зрения снижения отходов металла от продольной неравномерности деформации, уменьшая массу концевых обрубков не менее чем на 3 %, что особенно актуально при ковке крупных поковок. Использование выпуклых продолговатых плит для выполнения профилирующих операций в технологиях объемной штамповки изделий прямоугольных в плане способствует хорошему приближению формы заготовки к конфигурации поковки и наиболее полному заполнению гравюры окончательного ручья штампа [3, 4].

Выполнение осадки выпуклыми продолговатыми плитами на установленном в цехе кузнечно-штамповочном оборудовании необходимо проверять как по возможности размещения заготовки после деформирования в габаритах рабочего пространства, так и по силовым режимам операции. Последнее проводят из соображений оценки достаточности номинальной силы прессы для выполнения одного перехода или нескольких совмещенных операций одновременно (например, при штамповке на автоматизированных линиях). Сопоставление силы деформирования на предварительном переходе и при окончательных операцияхковки или штамповки обычно выполняют на стадии проектирования технологического процесса. Однако, если закономерности формоизменения при осадке выпуклым инструментом были исследованы и отражены в работах [5–7], то соответствующие силовые режимы до настоящего времени не изучены.

Целью настоящей работы является исследование энергосиловых режимов на операциях кузнечной осадки выпуклыми продолговатыми плитами и разработка методики их расчета в зависимости от размеров заготовки и радиуса осадочных плит.

Экспериментальные исследования проводили на испытательной машине Р-20, при этом использовали физические модели заготовок из свинца сурьмянистого марки ССу (соответствует горячей деформации среднелегированных сталей [8]). Свинцовые образцы получали прессованием с коэффициентом вытяжки 5,06. По ходу деформирования осуществляли непрерывную запись текущего усилия силоизмерителем барабанного типа, встроенным в испытательную машину. Использовали образцы с размерами: диаметр – $D_0 = 50$ мм, высота – $H_0 = 50$ мм и 100 мм ($H_0/D_0 = 1,0$ и 2,0). Радиус выпуклости осадочных плит составлял $R = 30$ мм, 50 мм, 75 мм и 112,5 мм, таким образом, показатель радиусности – $R/D_0 = 0,6; 1,0; 1,5$ и 2,25 соответственно.

Полученные по ходу (ΔH , мм) осадки выпуклыми плитами индикаторные диаграммы текущего усилия (P , Н) приведены на рис. 1. Степень деформации ε (%) при осадке каждого образца вычисляли из универсального выражения, полученного на основе метода смещенного объема и обобщения результатов работы [9]:

$$\varepsilon = a \cdot \varepsilon^* - b, \quad (1)$$

где $\varepsilon^* = \left[\frac{H_0 - h_{к.ср}}{H_0} \right] \cdot 100\%$, причем $h_{к.ср} = (H + h)/2$, здесь H и h – максимальная и минимальная высота осажённой выпуклыми плитами заготовки соответственно;

$$a = \left[0,019 - 0,037 \left(\frac{H_0}{D_0} \right) \right] \frac{R}{D_0} - 0,069 \left(\frac{H_0}{D_0} \right) + 1,387; \quad b = \left[1,293 - 0,65 \left(\frac{H_0}{D_0} \right) \right] \frac{R}{D_0} - 0,43 \left(\frac{H_0}{D_0} \right) + 0,993.$$

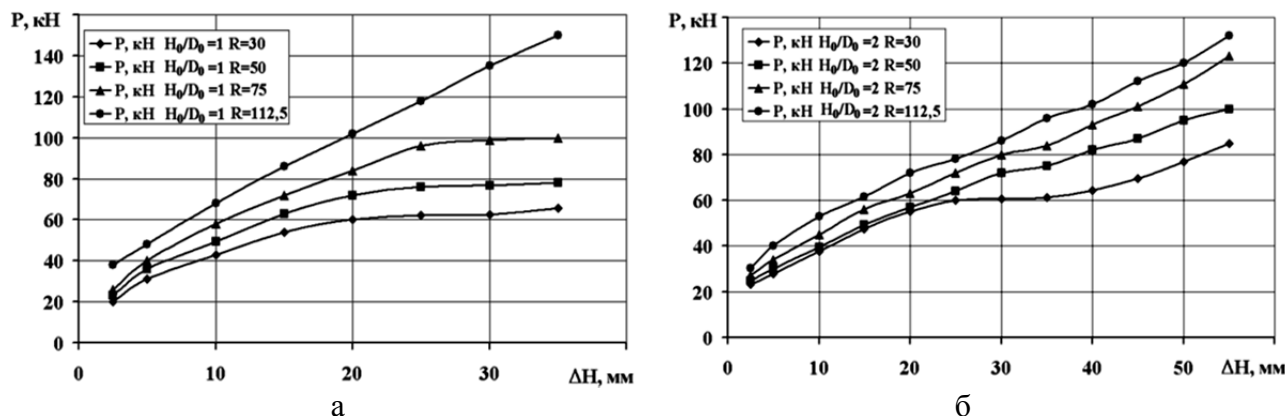


Рис. 1. Силовые параметры процесса осадки образцов выпуклыми продолговатыми плитами с различным радиусом R (мм):

а – $D_0 = 50$ мм и $H_0 = 50$ мм; б – $D_0 = 50$ мм и $H_0 = 100$ мм

Рассчитывали текущие давления осадки:

$$p = P / \frac{\pi D_0^2}{4}. \quad (2)$$

Графики изменения p по ходу осадки при различных радиусах выпуклых продолговатых плит приведены на рис. 2. Предварительно, по стандартной методике осадки цилиндрических образцов, изложенной в источнике [10], получали зависимость $\sigma_{s(CCy)} = f(\varepsilon)$ для используемого материала. Результаты исследований аппроксимировали выражением:

$$\sigma_{s(CCy)} = -1987,8 \cdot \varepsilon^4 + 2664,6 \cdot \varepsilon^3 - 1354,4 \cdot \varepsilon^2 + 303,5 \cdot \varepsilon - 0,011. \quad (3)$$

На основании полученных результатов нетрудно рассчитать приведенное давление (относительное удельное давление) изучаемого процесса:

$$\eta_\sigma = p / \sigma_s. \quad (4)$$

Безразмерная величина η_σ не зависит от свойств материала заготовки и, согласно Н. П. Громову, является функцией вида процесса, т. е. функцией напряженно-деформированного состояния, которое характерно данному виду процесса деформации: $\eta_\sigma = f(\mu, H_0/D_0; \varepsilon_y)$, где μ – коэффициент контактного трения. Учитывая, что при осадке заготовок с $H_0/D_0 \geq 1$ силами трения можно пренебречь [11], тогда $\eta_\sigma = f(H_0/D_0; \varepsilon_y)$. Используя результаты эксперимента, строили графики для $\eta_\sigma(H_0/D_0; \varepsilon_y)$, которые приведены на рис. 3.

Таким образом, силу, необходимую для осадки заготовки выпуклыми продолговатыми плитами, можно рассчитать как:

$$P = \eta_\sigma \cdot \sigma_s \cdot \frac{\pi D_0^2}{4}, \quad (5)$$

где $\sigma_s = \sigma_s(\varepsilon, \dot{\varepsilon}, t)$ – истинная величина сопротивления деформации материала заготовки при заданной температуре (t), степени деформации ε и скорости деформации $\dot{\varepsilon}$;
 η_σ – определяют по графику (см. рис. 3) для заданных условий осадки.

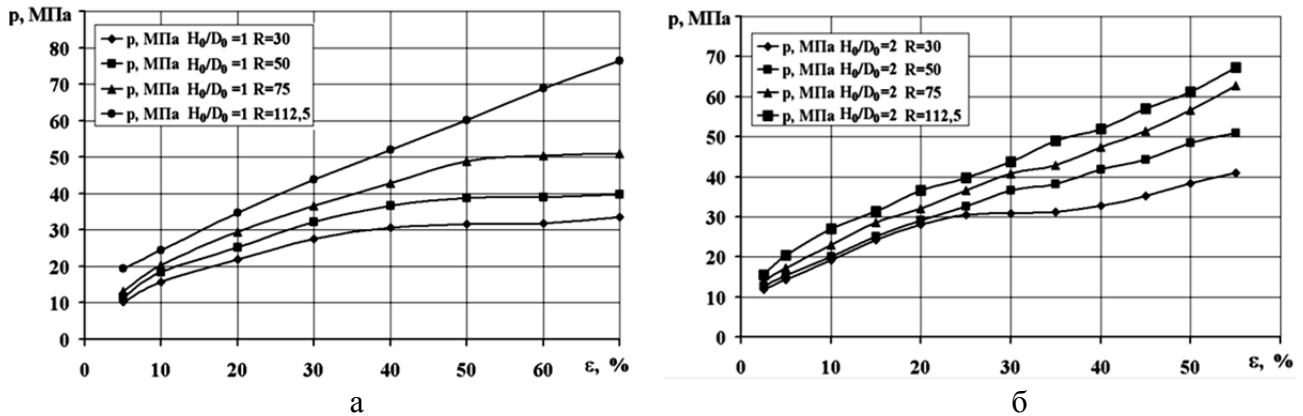


Рис. 2. Давления на контакте при осадке образцов выпуклыми продолговатыми плитами с различным радиусом R (мм):
 а – $D_0 = 50$ мм и $H_0 = 50$ мм; б – $D_0 = 50$ мм и $H_0 = 100$ мм

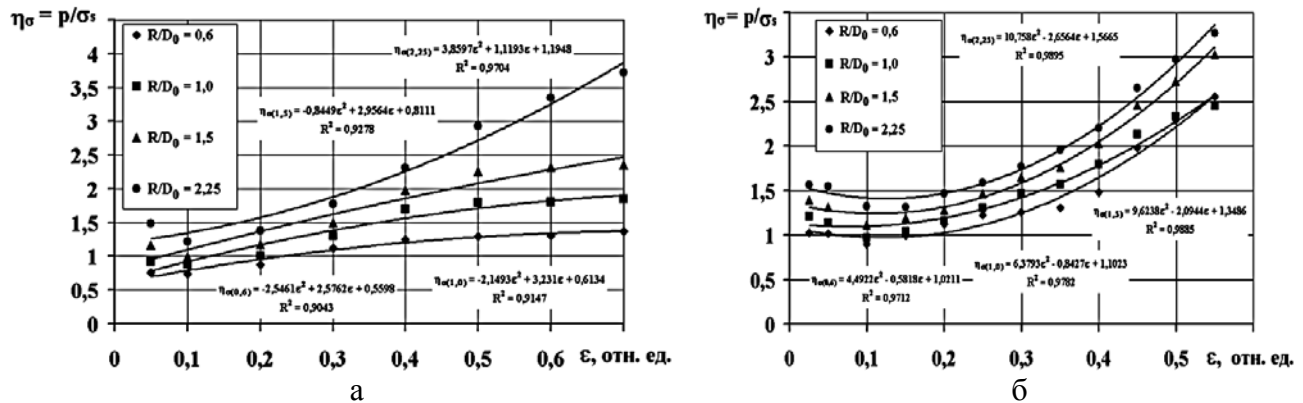


Рис. 3. Приведенные давления при осадке образцов выпуклыми продолговатыми плитами с различной радиусностью R/D_0 :
 а – $D_0 = 50$ мм и $H_0 = 50$ мм; б – $D_0 = 50$ мм и $H_0 = 100$ мм

В результате обработки графиков рис. 3 получено эмпирическое выражение для вычисления значения η_σ в зависимости от величин степени деформации осадки (ε), радиусности (R/D_0) выпуклых осадочных плит и отношения высоты к диаметру заготовки ($m = H_0/D_0$).
 Данное выражение имеет вид:

$$\eta_\sigma = A\varepsilon^2 + B\varepsilon + C, \tag{6}$$

$$\text{где } A = (-4,6165 \cdot m + 7,1799) \cdot \left(\frac{R}{D_0}\right)^2 + (13,289 \cdot m - 16,747) \cdot \left(\frac{R}{D_0}\right) + (0,4693 \cdot m - 1,8221);$$

$$B = (2,0966 \cdot m - 3,9114) \cdot \left(\frac{R}{D_0}\right)^2 + (-6,4276 \cdot m + 10,689) \cdot \left(\frac{R}{D_0}\right) + (0,0366 \cdot m + 0,6691);$$

$$C = (-0,0519 \cdot m + 0,4489) \cdot \left(\frac{R}{D_0}\right) + (0,5342 \cdot m - 0,2704).$$

Следовательно, величину силы для осуществления формоизменения осадкой выпуклыми продолговатыми плитами можно вычислить, подставляя значения, полученные расчетом по уравнению (6), в выражение (5).

Отметим, что графики, приведенные на рис. 1–3, являются возрастающими. Увеличение R/D_0 выпуклых осадочных плит приводит к росту силы деформирования. Для достижения одинакового значения степени деформации для более низких заготовок требуются совершить меньший рабочий ход, чем для более высоких. Поэтому значения приведенных давлений, соответствующих, например, $\varepsilon = 50\%$ для заготовок с $H_0/D_0 = 2,0$ больше в $1,1\div 1,7$ раз, чем для заготовок с $H_0/D_0 = 1,0$ (см. рис. 3). Меньшие значения, как правило, относятся к случаям осадки плитами меньшей радиусности.

В работе [12] приведен пример конечно-элементного моделирования силовых режимов процесса осадки стальных заготовок (38ХС) с $D_0 = 92$ мм и $H_0 = 97$ мм выпуклыми продолговатыми плитами с $R = 50$ мм для заданных условий деформации. Нами были проведены расчеты по разработанной методике для соответствующих условий и размеров заготовки. Значения сопротивления деформации для стали 38ХС при 1100°C находили путем аппроксимации данных справочника [9]:

$$\sigma_{s(38XC)} = A \cdot \varepsilon^2 + B \cdot \varepsilon + C, \quad (7)$$

$$\text{где } A = (0,0062 \cdot \dot{\varepsilon} + 0,7777) \cdot t - 14,356 \cdot \dot{\varepsilon} - 1033,2;$$

$$B = (-0,0142 \cdot \dot{\varepsilon} - 0,657) \cdot t + 28,823 \cdot \dot{\varepsilon} + 890,98;$$

$$C = (-0,0019 \cdot \dot{\varepsilon} - 0,1612) \cdot t + 3,9945 \cdot \dot{\varepsilon} + 275,84.$$

После вычисления η_σ по выражению (5) при параметрах $H_0/D_0 = 1,054$, $R/D_0 = 0,543$ и текущей степени деформации по формуле (1), соответствующей расчетному ходу осадки, определяли силовые режимы деформирования заготовки, используя выражение (4).

Сравнение теоретических силовых режимов, полученных при моделировании и рассчитанных по разработанной методике, приведено на рис. 4.

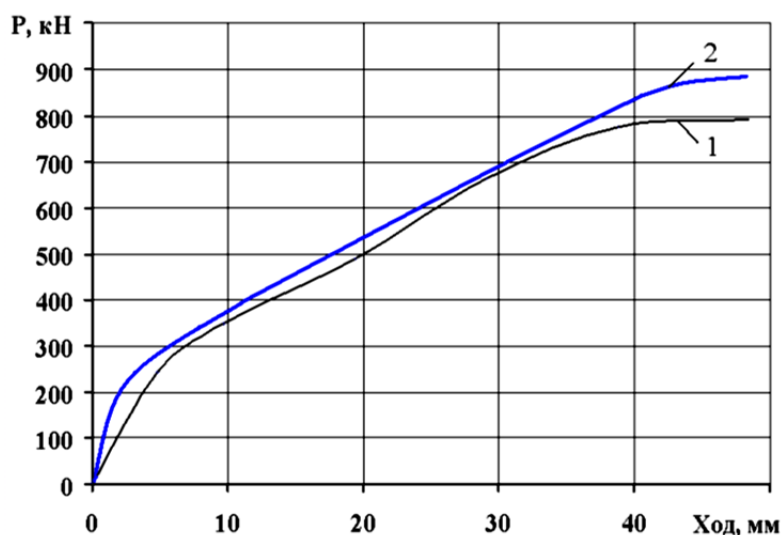


Рис. 4. Теоретические (1) и расчетные (2) значения силы осадки выпуклыми продолговатыми плитами заготовки из стали 38ХС при 1100°C , $D_0 = 92$ мм, $H_0 = 97$ мм, $R = 50$ мм ($H_0/D_0 = 1,054$; $R/D_0 = 0,543$)

Резкий подъем графиков на начальной стадии осадки связан с увеличением площади контакта заготовки с внедряющимися выпуклыми плитами, а максимумы сил, как правило, регистрируются при наибольших обжатиях, т. е. на окончательной стадии деформирования. Различие максимальных значений сил, полученных расчетом и моделированием, при наибольших обжатиях ($\varepsilon = 50\%$) не превышает $10,25\%$.

ВЫВОДЫ

Выполнено исследование и проведен анализ закономерностей развития силовых режимов при осадке выпуклыми продолговатыми плитами, используемой для достижения экономии металла и улучшения качества поковок в технологиях ковки и штамповки. На основе полученного выражения для расчета приведенного давления разработана методика определения силы профилирующей операции в зависимости от степени деформации осадки, размеров заготовки и радиуса осадочных плит.

Проведен сравнительный анализ результатов конечно-элементного моделирования силового режима при осадке заготовки выпуклыми продолговатыми плитами с данными расчета силы по разработанной методике. Различие максимальных значений сил, полученных расчетом и моделированием, при наибольших обжатиях ($\varepsilon = 50\%$) не превышает 10,25 %.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ковка слитков на прессах* / Л. Н. Соколов [и др.]; под ред. Л. Н. Соколова. – К. : Техніка, 1984. – 127 с.
2. *Иванушкин П. Ф. Рациональные методы ковки толстых пластин* / П. Ф. Иванушкин, Н. Т. Костюченко // *Обработка металлов давлением: сб. науч. тр.* – М. : Металлургия, 1969. – Вып. XVIII. – С. 178–183.
3. *Бурко В. А. Совершенствование технологических процессов штамповки поковок пластин* / В. А. Бурко // *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки.* – Хмельницький: ХНУ, 2008. – № 6. – С. 64–67.
4. Пат. 44484 Україна, МПК(2009) В 21 К 1/00, В 21 J 5/00. *Спосіб штампування поковок пластин* / Кухар В. В., Бурко В. А., Лаврентік О. О., Дубиніна А. В. – № 200902832; заявл. 26.03.2009; опубл. 12.10.2009, Бюл. № 19. – 5 с. : іл.
5. *Кухарь В. В. Моделирование формоизменения металла при осадке цилиндрических заготовок выпуклыми продолговатыми плитами* / В. В. Кухарь, С. А. Короткий, В. А. Бурко // *Вісник Хмельницького національного університету.* – Хмельницький: ХНУ, 2008. – № 5. – С. 204–208.
6. *Анализ пластического формоизменения в частных задачах ковки и штамповки: монография* / В. А. Гринкевич, В. В. Кухарь, М. В. Краев, В. А. Бурко. – Мариуполь: ЗАО «Газета «Приазовский рабочий», 2011. – 336 с.
7. *Кухарь В. В. Исследование особенностей формоизменения цилиндрических заготовок при осадке выпуклыми продолговатыми плитами* / В. В. Кухарь, В. А. Бурко // *Металлургическая и горнорудная промышленность.* – 2009. – № 1. – С. 66–68.
8. *Мигачев Б. А. Моделирование технологических процессов ковки* / Б. А. Мигачев, В. Л. Колмогоров // *Кузнечно-штамповочное производство.* – 1996. – № 1. – С. 11–13.
9. *Кухарь В. В. Сместенные объемы при осадке цилиндрических заготовок выпуклыми плитами* / В. В. Кухарь, В. А. Бурко // *Обработка материалов давлением.* – Краматорск : ДГМА, 2008. – № 1 (19). – С. 177–182.
10. *Полухин П. И. Сопротивление пластической деформации металлов и сплавов: справочник* / П. И. Полухин, Г. Я. Гун, А. М. Галкин. – М. : Металлургия, 1983. – 352 с.
11. *Унксов Е. П. Инженерные методы расчёта усилий при обработке металлов давлением* / Е. П. Унксов. – М. : Машигиз, 1955. – 280 с.
12. *Бурко В. А. Анализ напряженно-деформированного состояния и силовых режимов при многорезервной штамповке поковок пластин* / В. А. Бурко, В. В. Кухарь, С. А. Короткий // *Вестник национального технического университета «ХПИ» : сб. научн. тр. : тематический выпуск: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков : НТУ «ХПИ». – 2010. – № 43. – С. 35–47.

Кухарь В. В. – канд. техн. наук, доц. ПГТУ;

Бурко В. А. – канд. техн. наук, доц. ПГТУ;

Данилова Т. Г. – канд. техн. наук, доц. ПГТУ.

ПГТУ – Приазовский государственный технический университет, г. Мариуполь.

E-mail: kvv_mariupol@mail.ru

Статья поступила в редакцию 03.03.2012 г.