

УДК 621.762.4

ВИЗНАЧЕННЯ КІНЕМАТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРИ СТАТИКО-ВІБРАЦІЙНОМУ ОСАДЖУВАННІ ВІБРУЮЧИМ ПУАНСОНОМ**Ю. М. Чебенко**

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: bgd@kdu.edu.ua

Розглянуто існуючі схеми осаджування і на підставі їх вивчення і аналізу запропонована нова розрахункова схема, яка описує взаємодію вібруючого пуансона преса з циліндричною заготовкою при її статико-вібраційному осаджуванні вібруючим пуансоном преса. У результаті проведення теоретичних досліджень отримані аналітичні залежності, які дозволяють встановити зв'язок між лінійною швидкістю деформації, зусиллям, що прикладається, часом дії вібраційного навантаження і деформацією при статико-вібраційному осаджуванні циліндричної заготовки. Визначення співвідношень між вказаними параметрами дозволять обґрунтовано вибрати основні робочі параметри вібраційного пресового обладнання і встановити необхідний режим вібраційної дії на заготовку.

Ключові слова: деформація, статико-вібраційне осаджування, зусилля, вібраційне навантаження, пуансон.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ СТАТИКО-ВИБРАЦИОННОЙ ОСАДКЕ ВИБРИРУЮЩИМ ПУАНСОНОМ**Ю. Н. Чебенко**

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: bgd@kdu.edu.ua

Рассмотрены существующие схемы осадки и на основании их изучения и анализа предложена новая расчетная схема, которая описывает взаимодействие вибрирующего пуансона прессы с цилиндрической заготовкой при ее статико-вибрационной осадке вибрирующим пуансоном прессы. В результате проведения теоретических исследований получены аналитические выражения, которые позволяют установить связь между линейной скоростью деформации, прикладываемым усилием, временем приложения вибрационной нагрузки и деформацией при статико-вибрационном осаживании цилиндрической заготовки. Определение соотношений между указанными параметрами позволят обоснованно выбрать основные рабочие параметры вибрационного прессового оборудования и установить требуемый режим вибрационного воздействия на заготовку.

Ключевые слова: деформация, статико-вибрационная осадка, усилие, вибрационная нагрузка, пуансон.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Обработка материалов давлением на сегодняшний день открывает принципиально новые возможности для разработки различных ресурсосберегающих технологических процессов. Детальный анализ существующих литературных источников [1–3] позволяет сделать вывод о том, что применение вибрации при формовании позволяет значительно снизить требуемое усилие формования, повысить производительность процесса и качество получаемых прессовок.

Кроме того, это направление имеет достаточно простой способ получения высокого статического давления формования, относительную простоту передачи вибрации рабочим органам формирующего оборудования, отличается высокой экономичностью и эффективно используется для осадки заготовок из пластичных материалов.

Одним из наиболее важных вопросов процесса статико-вибрационной осадки заготовок является выявление аналитических закономерностей между линейной скоростью деформации, прикладываемым усилием, временем приложения вибрационной нагрузки и деформацией. Эти закономерности представляют собой математическое отображение динамики процесса осаживания заготовок.

На сегодняшний день этот процесс детально изучен применительно к статической осадке цилиндрических образцов постоянного поперечного сечения падающим молотом [4]. Введение же в процесс осадки цилиндрической заготовки вибрационной составляющей усилия осадки остается не достаточно изученным в плане получения аналитических зависимостей между указанными выше параметрами.

Целью работы является выявление закономерностей между линейной скоростью деформации, прикладываемым усилием, временем приложения нагрузки и деформацией при статико-вибрационном осаживании цилиндрической заготовки, которые позволят обоснованно выбрать основные рабочие параметры вибрационного прессового оборудования и установить требуемый режим статико-вибрационного воздействия на цилиндрическую заготовку постоянного поперечного сечения.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. Для проведения теоретических исследований процесса статико-вибрационной осадки рассмотрим расчетную схему осадки цилиндрической заготовки вибрирующим пуансоном прессы, показанную на рис. 1.

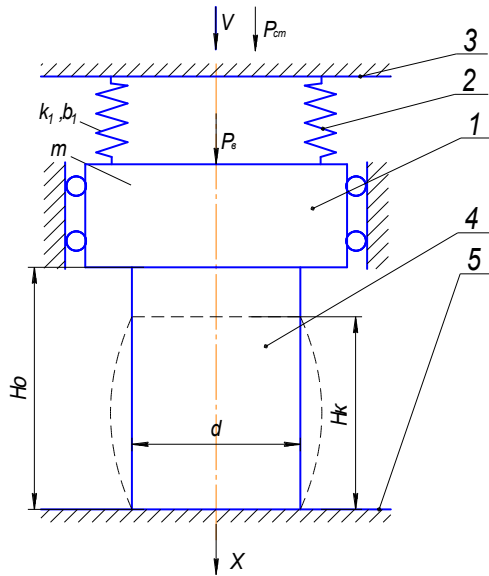


Рисунок 1 – Расчетная схема осадки цилиндрической заготовки вибрирующим пуансоном прессы: 1 – пуансон; 2 – пружина; 3 – нажимная плита; 4 – заготовка; 5 – наковальня

Здесь пуансон 1 массой m , подвешенный на линейных пружинах 2, которые обладают жесткостью k_1 и демпфированием b_1 к нажимной плите 3, осаживает цилиндрическую заготовку 4 диаметром d от начальной высоты H_0 до конечной высоты H_k . Будем считать, что движение пуансона 1 ограничено идеальными направляющими. Следуя рассуждениям, приведенным в работе [4], будем исследовать процесс осадки заготовки при следующих допущениях:

1. Происходит однородная осадка без трения.
2. Увеличением температуры в осаживаемой заготовке пренебрегаем.
3. Примем, что напряжение текучести σ связано с текущей относительной линейной скоростью деформации $\dot{\varepsilon}$ выражением, которое не учитывает поверхностного упрочнения:

$$\sigma = Y_0 \cdot \dot{\varepsilon}^n, \quad (1)$$

где Y_0 и n – постоянные [4].

В соответствии с подходом, принятым в работе [4], запишем уравнение движения пуансона в следующем виде:

$$-m \frac{d^2 u}{dt^2} - b_1 \frac{du}{dt} - k_1 u = A \cdot \sigma = \frac{A_0 \cdot H_0 \cdot Y_0}{H_k} \cdot \dot{\varepsilon}^n, \quad (2)$$

где A и A_0 – начальное и текущее значение площади поперечного сечения заготовки; t – время.

Линейная скорость деформации может быть определена из следующей зависимости [4]:

$$\dot{\varepsilon} = \frac{V}{H_0}, \quad (3)$$

значит

$$\frac{d\dot{\varepsilon}}{dt} = \frac{1}{H_0} \cdot \frac{dV}{dt}, \quad (4)$$

где V – скорость перемещения нажимной плиты прессы.

Подставляя $\frac{dV}{dt}$ из выражения (4) в уравнение движения (2) и, проведя преобразования, получим:

$$-m \cdot \frac{H_0}{A_0 \cdot Y_0} \cdot \frac{d\dot{\varepsilon}}{dt} - b_1 \cdot \frac{H_0}{A_0 \cdot Y_0} \cdot \dot{\varepsilon} - k_1 \cdot \frac{H_0}{A_0 \cdot Y_0} \cdot t = \frac{\dot{\varepsilon}^n}{1-\varepsilon}. \quad (5)$$

Поскольку $\frac{H}{H_0} = 1-\varepsilon$ и учитывая, что $\frac{d\varepsilon}{\dot{\varepsilon}} = dt$, выражение (5) примет следующий вид:

$$-\alpha \cdot \frac{d\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}^{n-1}} - \dot{\varepsilon}^{1-n} \cdot (\beta + \gamma \cdot t) \cdot d\dot{\varepsilon} = \frac{d\varepsilon}{1-\varepsilon}, \quad (6)$$

где коэффициенты α , β и γ определяются из выражений:

$$\alpha = m \cdot \frac{H_0}{A_0 \cdot Y_0}; \quad \beta = b_1 \cdot \frac{H_0}{A_0 \cdot Y_0};$$

$$\gamma = k_1 \cdot \frac{H_0}{A_0 \cdot Y_0}. \quad (7)$$

Интегрируя полученное выражение (6) получим:

$$-\alpha \cdot \left[\frac{\dot{\varepsilon}^{2-n}}{2-n} \right]_{\dot{\varepsilon}_0}^{\dot{\varepsilon}} - (\beta + \gamma \cdot t) \cdot \left[\frac{\dot{\varepsilon}^{2-n}}{n-2} \right]_{\dot{\varepsilon}_0}^{\dot{\varepsilon}} = \left[\ln \frac{1}{1-\varepsilon} \right]_0^{\varepsilon}, \quad (8)$$

где $\dot{\varepsilon}_0$ – относительная линейная скорость деформации в начале прессования при $\varepsilon = 0$.

Подставляя в полученное выражение (8) границы интегрирования получим:

$$\left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0} \right)^{2-n} = 1 - \vartheta \cdot \ln \left(\frac{1}{1-\varepsilon} \right), \quad (9)$$

$$\text{где } \vartheta = \frac{(n-2)^2}{[-\alpha - (\beta + \gamma \cdot t)] \cdot \dot{\varepsilon}_0^{2-n}}. \quad (10)$$

В конце осадки заготовки при $\dot{\varepsilon} = 0$, обозначив через ε_k конечную величину деформации, получим:

$$\ln \left(\frac{1}{1-\varepsilon_k} \right) = \frac{1}{\vartheta} = \frac{[-\alpha - (\beta + \gamma \cdot t)] \cdot \dot{\varepsilon}_0^{2-n}}{(n-2)^2}. \quad (11)$$

Уравнение (11) можно представить в виде [4]:

$$\left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0} \right)^{2-n} = 1 - \frac{\ln \left(\frac{1}{1-\varepsilon} \right)}{\ln \left(\frac{1}{1-\varepsilon_k} \right)}. \quad (12)$$

При не больших значениях деформации ε , выражение (12) может быть представлено в виде [4]:

$$\left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0}\right)^{2-n} = 1 - \frac{\varepsilon}{\varepsilon_k} \quad (13)$$

Основываясь на данных [4] для практических расчетов реальных материалов значение показателя $n = 0,3$, а относительная скорость деформации может быть выражена через начальные значения скорости V_0 и размер осаживаемой заготовки H_0 (рис. 1) [4]:

$$\dot{\varepsilon} = \frac{2}{3} \cdot \frac{V_0}{H_0} \quad (14)$$

Используя аналогичный подход, можно получить соотношение для усилия и осадки цилиндрической заготовки. Суммарное усилие формообразования P при статико-вибрационном способе нагружения может быть определено из зависимости [5]:

$$P = P_g \cdot \sin \omega \cdot t + P_{ст}, \quad (15)$$

где P_g – амплитуда возмущающей силы; ω – угловая частота вынужденных колебаний; $P_{ст}$ – статическая составляющая усилия осадки.

Тогда

$$(P_g \cdot \sin \omega \cdot t + P_{ст}) = \frac{A_0 \cdot H_0 \cdot Y_0}{H_k} \cdot \dot{\varepsilon}^n \quad (16)$$

Учитывая то, что при деформировании заготовки ее масса m остается постоянной, то значения высот H_0 и H_k можно представить в следующем виде:

$$H_0 = \frac{m}{A_0 \cdot \rho_n}; \quad H_k = \frac{m}{A \cdot \rho_k}, \quad (17)$$

где ρ_n и ρ_k – начальное и конечное значение плотности осаживаемой заготовки.

Следовательно,

$$\frac{(P_g \cdot \sin \omega \cdot t + P_{ст})}{A_0 \cdot Y_0 \cdot \dot{\varepsilon}^n} = \frac{H_0}{H_k} = \frac{\rho_k}{\rho_n} = \frac{\left[1 - \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_k}\right)^{\frac{n}{2-n}}\right]}{1 - \varepsilon} \quad (18)$$

Выражение (18) позволяет описать зависимость суммарного усилия осадки P при статико-вибрационном способе нагружения от деформации заготовки.

Следуя размышлениям, приведенным в работе [4], и, основываясь на выражении (13), можно получить выражение связывающее время и деформацию при статико-вибрационной осадке в следующем виде:

$$t = \frac{\varepsilon_k \cdot (2-n) \cdot \left[1 - \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_k}\right)^{\frac{1-n}{2-n}}\right]}{\dot{\varepsilon}_0(1-n)} \quad (19)$$

Анализ полученной зависимости (19) говорит о том, что время осадки заготовки при статико-вибрационном способе зависит скорости движения нажимной плиты пресса, начального значения высоты заготовки H_0 и прикладываемого усилия осадки P .

ВЫВОДЫ. Предложен новый теоретический подход, позволяющий описать процесс статико-вибрационной осадки цилиндрической заготовки.

В результате проведенных теоретических исследований получены выражения, которые позволяют установить соотношения между линейной скоростью деформации, прикладываемым усилием, временем приложения усилия и деформацией.

Такой подход позволит обоснованно выбрать режимы внешней нагрузки и основные параметры вибрационного прессового оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бобрыкин Ю.А. Применение пресса вибрационной обработки металлов давлением // Кузнечно-штамповочное производство. – 1953. – Вып. 6. – С. 16–22.
2. Вибрационный метода деформирования / М.Я. Карнов, А.А. Воронин // Кузнечно-штамповочное производство. – 1961. – Вып. 6. – С. 32–44.
3. Тарновский И. Я. Теория обработки металлов давлением. – М.: Металлургиздат, 1963. – 256 с.
4. Джонсон У., Меллор П.Б. Теория пластичности для инженеров / Пер. с англ. А.Г. Овчинников. – М.: Машиностроение, 1979. – 567 с.
5. Миронюк А. Ф. Определение перемещений ползуна гидравлического пресса при вибрационном прессовании // Материалы постоянно действующего научного семинара «Проблемы вибрационной техники». – К.: Наукова думка, 1970. – С. 2–11.

DETERMINING KINEMATIC PARAMETERS DURING THE STATIC-VIBRATION UPSETTING AT THE VIBRATORY STAMPING PUNCH

Yu. Chebenko

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University
vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: bgd@kdu.edu.ua

In the article, the author has considered existing upsetting procedures and, after having studied and analyzed them in details, has offered a new calculation scheme that describes interaction of the vibratory stamping punch with a solid

round blank while its static-vibration upsetting at the vibratory stamping press. As a result of the theoretical research performed it was obtained the analytical expressions that associate the linear deformation velocity, the force applied, duration of the vibratory load, and deformation during the static-vibration upsetting of a solid round blank. Finding relations between these parameters allows for choosing, on a reasonable basis, the key operation features of vibratory stamping presses and setting the needed operation mode of the vibratory impact on the blank.

Key words: deformation, static-vibration upsetting, force, vibratory load, stamping punch.

REFERENCES

1. Bobrykin, Yu.A. (1953), "Using the press for vibrational plastic metal working", *Kuznechno-shtampovoe proizvodstvo*, iss. 6, pp. 16–22.
2. Karnov, M.Ya., Voronin, A.A. (1961), "The vibrational forming method", *Kuznechno-shtampovoe proizvodstvo*, iss. 6, pp. 32–44.
3. Tarnovskii I.Ya. (1963), *Teoriya obrabotki metallov davleniem* [Theory of plastic metal working], Metallurgizdat, Moscow, Russia.
4. Johnson, W., Mellor, P.B. (1979), *Teoriya plastichnosti dlya inzhenerov* [Plasticity for mechanical engineers], translated by A.G. Ovchinnikov, Mashinostroenie, Moscow, Russia.
5. Mironuk, A.F. (1970), "Determining ram traveling of the hydraulic press at vibrational press forming", Materials of the permanent scientific workshop "Problems of vibrational equipment", pp. 2–11, Naukova Dumka, Kyiv, Ukraine.

Стаття надійшла 02.10.2013.