

УДК 621.762.4

Д. В. САВЕЛОВ, канд. техн. наук, доц., КрНУ им. М. Остроградского, Кременчуг

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА УПЛОТНЕНИЯ ПОРОШКОВОЙ СМЕСИ НА ВИБРОСТОЛЕ С ЖЕСТКО-УПРУГИМИ ОГРАНИЧИТЕЛЯМИ

В статье приведены теоретические исследования рабочего режима и определены основные параметры вибрационного пресса, оборудованного вибростолом с двумя вибрационными возбудителями круговых колебаний и жестко-упругими ограничителями. Проведенные исследования послужили основой для создания достаточно простой и надежной конструкции вибрационного пресса, оборудованного вибростолом, совершающим вертикально направленные колебания вместе с пресс-формой и обеспечивающего эффективное уплотнение порошковой смеси.

Ключевые слова: рабочий режим, вибрационный пресс, металлический порошок, жестко-упругий ограничитель.

Вступление. Применяемые в промышленности вибрационные прессы с вертикально направленными колебаниями пресс-форм обычно состоят из установленного на станине при помощи упругих амортизаторов вибростола и размещенного под ним вибровозбудителя вертикально направленных колебаний, каждый из которых выполнен в виде двух параллельно расположенных вибровозбудителей круговых колебаний. Эти вибровозбудители круговых колебаний, связаны между собой при помощи зубчатого синхронизатора, обеспечивающего синхронное вращение вибровозбудителей круговых колебаний в противоположные стороны [1]. Это вибрационное оборудование обеспечивает эффективное уплотнение разных порошковых смесей. Однако оно имеет достаточно сложную конструкцию, повышенную металлоемкость и низкую надежность из-за использования цилиндрических зубчатых синхронизаторов, которые обычно быстро выходят из строя при высокочастотных колебаниях, характерных для уплотнения металлических порошков вертикально направленными колебаниями. Кроме того, в момент выключения привода, когда сбрасываемая частота вращения дебалансных валов совпадает с частотой собственных колебаний системы, возникает явление резонанса, в результате которого амплитуда колебаний вибростола в течение 3-4 периодов колебаний резко возрастает, что приводит к некоторому разуплотнению порошковой смеси. Это, во-первых, снижает эффективность уплотнения, а во-вторых, отрицательно сказывается на работоспособности упругих амортизаторов.

Цель работы. Основной целью настоящих исследований является создание достаточно простой и надежной конструкции вибрационного пресса, оснащенного вибростолом с вертикально направленными колебаниями, обеспечивающего эффективное уплотнение порошковых смесей.

Материал и результаты исследований. Предлагаемый вибрационный пресс для формования изделий из металлических порошков [2] включает (рис. 1) станину 1 с вертикальными направляющими 2, соединенными в верхней части поперечиной 3, механизм вертикальных перемещений 4, кинематически связанный с размещенной на вертикальных направляющих 2 во втулках скольжения 5 реактивной плитой 6, к которой на упругих амортизаторах 7 подвешена виброплита 8 с формующим пуансоном 9, с расположенным на ней вибровозбудителем 10 направленными колебаний и под которой соосно с ней размещена съемная пресс-форма 11, установленный соосно с виброплитой 8 с помощью упругих опор 12 на станине 1 вибростол 13 с размещенным в нижней его части вибровоз-

© Д. В. Савелов, 2012

будителем 14 направленных колебаний. Вибрационный пресс дополнительно оснащен установленными между вибростолом 13 и станиной 1 жестко упругими ограничителями 15 (рис. 2), каждый из которых состоит из закрепленного на вибростоле 13 жесткого ударного элемента 16, контактирующего с закрепленной на станине 1 упругой металлической опорой 17, выполненной в виде жесткого стакана 18, заполненного полимерным телом 19, при этом в неподвижном состоянии зазор между контактирующими поверхностями ударного элемента 16 и полимерным телом 19 равняется $0,1 \dots 0,8$ амплитуды колебаний вибростола 13, а жестко упругие ограничители 15 расположенные симметрично относительно центра тяжести вибростола 13 как в продольном, так и в поперечном направлениях. Вибровозбудитель 10 направленных колебаний, расположенный на виброплите 8, выполненный в виде смещенных на одинаковое расстояние от центра тяжести виброплиты 8 двух возбуждателей 18 и 19 круговых колебаний, дебалансы которых имеют синхронное вращение и вращающиеся в противоположных направлениях. Вибровозбудитель 14 направленных колебаний, расположенный под вибростолом 13, выполненный в виде смещенных на одинаковое расстояние от центра тяжести вибростола 13 двух возбуждателей 20 и 21 круговых колебания, дебалансы которого имеют синхронное вращение и вращающиеся в противоположных направлениях.

Работа вибростола осуществляется следующим образом. Вибропресс находится в исходном положении, при котором механизм вертикальных перемещений 4 вместе с реактивной плитой 6, виброплитой 8 и формующим пуансоном 9 поднят по вертикальным направляющим 2 вверх. На вибростол 13 устанавливается пресс-форма 11, заполненную тщательным образом перемешанной порошковой смесью. После этого происходит одновременное включение вибровозбудителей круговых колебаний 20 и 21 и привода механизма вертикальных перемещений 4. После включения вибровозбудители круговых колебаний 20 и 21, имеющих разное направление вращения, на вибростол 13 вместе с пресс-формой 11 действуют вертикально направленные колебания с угловой частотой колебаний 293 рад/с и амплитудой $1,5 \dots 1,6 \text{ мм}$.

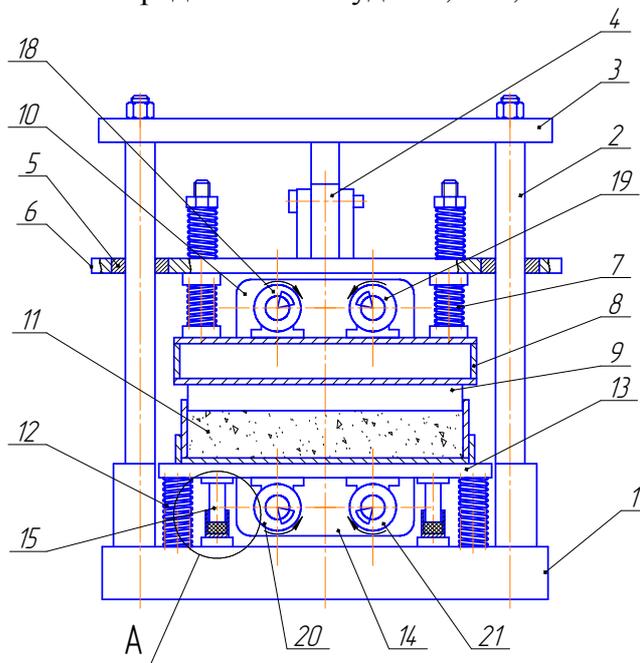


Рис. 1 – Конструктивная схема вибрационного пресса, снабженного вибростолом с жестко-упругими ограничителями

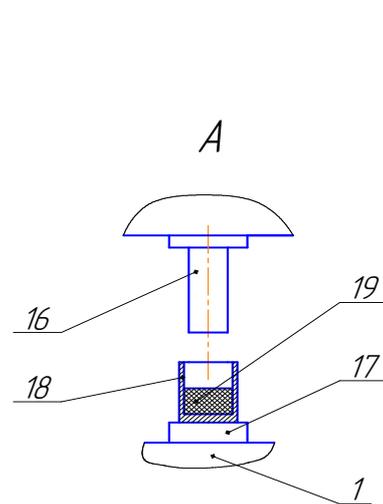


Рис. 2 – Конструктивные особенности жестко-упругих ограничителей

При этом закрепленные на вибростоле 13 жесткие ударные элементы 16 периодически соударяются о полимерные тела 19 упруго металлических опор 17, закрепленных на станине 1. В результате этих ударов вибростол 13 осуществляет асимметричные колебания в вертикальном направлении, которые благоприятно отражаются на эффективности уплотнения порошковой смеси. Это объясняется тем, что при ударах создается эффект встряхивания и возрастают инерционные силы, которые обеспечивают большую подвижность металлических частиц порошковой смеси с образованием более плотной упаковки порошковой смеси.

Благодаря предложенной конструкции вибростол вместе с упругими амортизаторами и жестко-упругими ограничителями создают существенно нелинейную систему. В результате, в момент выключения вибровозбудителей колебаний в представленной динамической системе не возникает явления резонанса, что во-первых не вызывает некоторого разуплотнения порошковой смеси, а во-вторых, не допускает дополнительного нагружения металлоконструкций вибростола и упругих опор. Кроме этого предложенное техническое решение позволяет довольно простым способом осуществить синхронизацию вращения вибровозбудителей круговых колебаний, значительно упростить конструкцию вибростола, уменьшить его металлоемкость и повысить надежность, а также обеспечить эффективное прессование и уплотнение порошковых смесей.

Для определения закона движения и основных параметров вибростола исследуем динамическую систему, в которой вибростол вибрационного пресса взаимодействует с жестко-упругими ограничителями. При периодическом воздействии ударных элементов 16 с полимерным телом 19, со стороны последнего будет действовать упругая реакция, которую также можно представить в виде кусочно-монотонной функции, представленной на рис. 3 при нулевом зазоре или на рис. 4 при зазоре больше нуля [3]. Угол α на рис. 4 определяется величиной зазора.

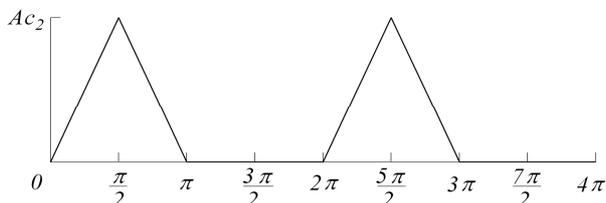


Рис. 3 – Изменение величины упругой реакции при нулевом зазоре между ударными элементами и полимерным телом

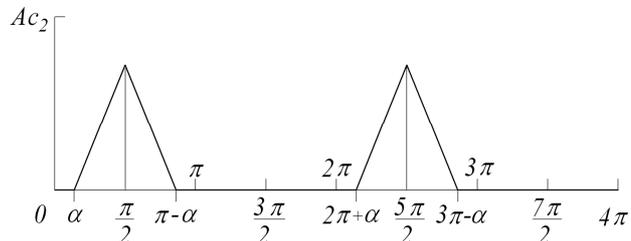


Рис. 4 – Изменение величины упругой реакции при определенном зазоре между ударными элементами и полимерным телом

Представленную на рис. 3 периодическую с периодом 2π функцию $f(\zeta)$ можно описать следующей системой уравнений:

$$\begin{cases} f(\zeta) = A c_2 \zeta & \text{при } 0 < \zeta \leq \frac{\pi}{2}, \\ f(\zeta) = A c_2 (\pi - \zeta) & \text{при } \frac{\pi}{2} < \zeta \leq \pi, \\ f(\zeta) = 0 & \text{при } \pi < \zeta \leq 2\pi, \end{cases} \quad (1)$$

где A – амплитуда деформирования полимерного тела;
 c_2 – жесткость упругих элементов ограничителей.

Разложим функцию $f(\zeta)$ в ряд Фурье. Коэффициенты разложения для функции $f(\zeta)$ будут равны:

$$a_0 = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(\zeta) \cdot d\zeta = \frac{Ac_2}{\pi} \left[\int_0^{0,5\pi} \zeta \cdot d\zeta + \int_{0,5\pi}^{\pi} (\pi - \zeta) \cdot d\zeta \right] = \frac{Ac_2 \pi}{4}; \quad (2)$$

$$a_k = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(\zeta) \cos k\zeta \cdot d\zeta = \frac{Ac_2}{\pi} \left[\int_0^{0,5\pi} \zeta \cos \zeta \cdot d\zeta + \int_{0,5\pi}^{\pi} (\pi - \zeta) \cos \zeta \cdot d\zeta \right] =$$

$$= -\frac{Ac_2}{\pi k^2} (1 + \cos k\pi) = \begin{cases} 0 & \text{при } k \text{ нечетном,} \\ -\frac{2Ac_2}{\pi k^2} & \text{при } k \text{ четном;} \end{cases} \quad (3)$$

$$b_k = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(\zeta) \sin k\zeta \cdot d\zeta = \frac{Ac_2}{\pi} \left[\int_0^{0,5\pi} \zeta \sin \zeta \cdot d\zeta + \int_{0,5\pi}^{\pi} (\pi - \zeta) \sin \zeta \cdot d\zeta \right] =$$

$$= \frac{Ac_2}{\pi k^2} \sin k \frac{\pi}{2} = \begin{cases} 0 & \text{при } k \text{ четном,} \\ \frac{2Ac_2}{\pi k^2} & \text{при } k = 1, 5, 9, \dots \\ -\frac{2Ac_2}{\pi k^2} & \text{при } k = 3, 7, 11, \dots \end{cases} \quad (4)$$

Представленную на рис. 4 периодическую функцию $f(\zeta)$ с периодом 2π можно описать следующим образом:

$$\begin{cases} f(\zeta) = 0 & \text{при } 0 < \zeta \leq \alpha, \\ f(\zeta) = Ac_2(\zeta - \alpha) & \text{при } \alpha < \zeta \leq \frac{\pi}{2}, \\ f(\zeta) = Ac_2(\pi - \zeta - \alpha) & \text{при } \frac{\pi}{2} < \zeta \leq \pi - \alpha, \\ f(\zeta) = 0 & \text{при } \pi - \alpha < \zeta \leq 2\pi, \end{cases} \quad (5)$$

Коэффициенты разложения для функции $f(\zeta)$ в ряд Фурье будут равны:

$$a_0 = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(\zeta) \cdot d\zeta = \frac{Ac_2}{\pi} \left[\int_{\alpha}^{0,5\pi} (\zeta - \alpha) d\zeta + \int_{0,5\pi}^{\pi - \alpha} (\pi - \alpha - \zeta) d\zeta \right] = Ac_2 \left(\frac{\pi}{4} - \alpha + \frac{\alpha^2}{2\pi} \right); \quad (6)$$

$$a_k = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(\zeta) \cos k\zeta \cdot d\zeta = \frac{Ac_2}{\pi} \left[\int_{\alpha}^{0,5\pi} (\zeta - \alpha) \cos \zeta \cdot d\zeta + \int_{0,5\pi}^{\pi - \alpha} (\pi - \alpha - \zeta) \cos \zeta \cdot d\zeta \right] =$$

$$= -\frac{A_{C2} \cos k\alpha}{\pi k^2} (1 + \cos k\pi) = \begin{cases} 0 & \text{при } k \text{ нечетном,} \\ -\frac{2A_{C2} \cos k\alpha}{\pi k^2} & \text{при } k \text{ четном;} \end{cases} \quad (7)$$

$$b_k = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(\zeta) \sin k\zeta \cdot d\zeta = \frac{A_{C2}}{\pi} \left[\int_{\alpha}^{0,5\pi} (\zeta - \alpha) \sin \zeta \cdot d\zeta + \int_{0,5\pi}^{\pi - \alpha} (\pi - \alpha - \zeta) \sin \zeta \cdot d\zeta \right] =$$

$$= \frac{A_{C2}}{\pi k^2} [\sin k \frac{\pi}{2} - \sin k\alpha (1 - \cos k\pi)] = \begin{cases} 0 & \text{при } k \text{ четном,} \\ \frac{2A_{C2}}{\pi k^2} (1 - \sin k\alpha) & \text{при } k = 1, 5, 9, \dots \\ -\frac{2A_{C2}}{\pi k^2} (1 + \sin k\alpha) & \text{при } k = 3, 7, 11, \dots \end{cases} \quad (8)$$

Из анализа полученных выражений (2–4) и (6–8) видно, что коэффициенты разложения в ряд Фурье (6 – 8) при значении $\alpha = 0$ вырождаются в коэффициенты разложения (2–4). Вследствие этого коэффициенты (6–8) являются универсальными и их можно использовать, как при определенном зазоре между ударными элементами и полимерным телом, так и при нулевом зазоре. С достаточной для инженерных расчетов степенью точности для описания функций $f(\zeta)$, представленных на рис. 3 и 4, можно ограничиться 4 членами разложения в ряд Фурье. При этом для вынужденных периодических колебаний вибростола вибрационного пресса силовое взаимодействие ударных элементов с полимерным телом может быть на основании выражений (6 – 8) с достаточной степенью точности представлено следующим разложением в ряд Фурье, т.е.

$$f(t) = \frac{A_{C2}}{2} \left(\frac{\pi}{4} - \alpha + \frac{\alpha^2}{2\pi} \right) + \frac{2A_{C2}}{\pi} \left[\frac{(1 - \sin \alpha) \sin \omega t}{1^2} - \frac{\cos 2\alpha \cos 2\omega t}{2^2} - \frac{(1 + \sin 3\alpha) \sin 3\omega t}{3^2} - \frac{\cos 4\alpha \cos 4\omega t}{4^2} \right]. \quad (9)$$

В случае несимметричной упругой характеристики следует учитывать, что отклонения вибростола в обе стороны от положения равновесия будут различными. Модули указанных отклонений A_{11} и A_{12} (рис. 5) связаны между собой соотношением [3]:

$$\frac{A_{12}}{-A_{11}} \int F(z) dz = 0, \quad (10)$$

из которого можно выразить одно из отклонений через другое.

Для упругой характеристики, представленной на рис. 5 а, функцию $F(z)$ можно описать следующей системой уравнений:

$$\begin{cases} F(z) = c_3 z & \text{при } -A_{11} < z \leq 0, \\ F(z) = (c_3 + c_2) z & \text{при } 0 < z \leq A_{12}, \end{cases} \quad (11)$$

где c_3 – жесткость упругих опор вибростола.

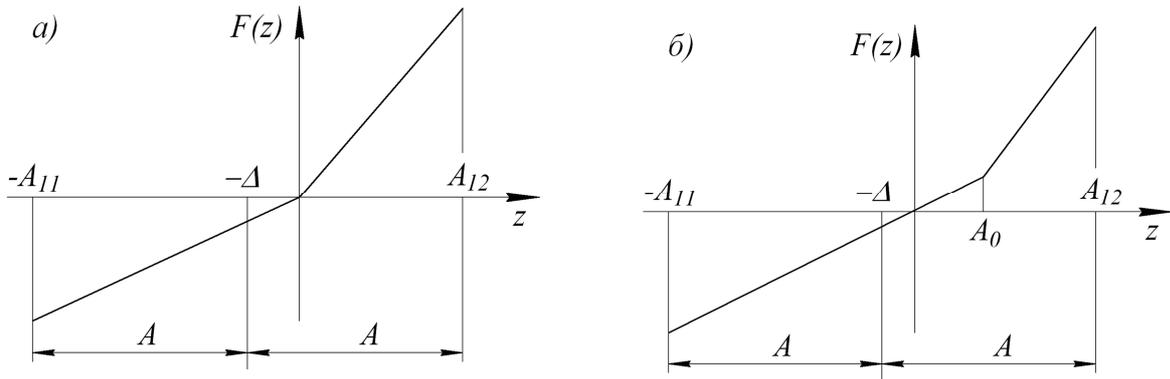


Рис. 5 – Упругая характеристика динамической системы: а) при отсутствии зазора между ударными элементами и полимерным телом ограничителей; б) при зазоре >0

Подставляя значения (11) функции $F(z)$ в выражение (10), найдем

$$\int_{-A_{11}}^{A_{12}} F(z) dz = \int_{-A_{11}}^0 c_3 z \cdot dz + \int_0^{A_{12}} (c_3 + c_2) z \cdot dz = -c_3 A_{11}^2 + (c_3 + c_2) A_{12}^2 = 0, \quad (12)$$

откуда

$$A_{12} = A_{11} \sqrt{\frac{c_3}{c_2 + c_3}}. \quad (13)$$

Среднее положение системы (центр колебаний) смещено влево от начала координат на величину

$$\Delta = \frac{1}{2}(A_{11} - A_{12}) = \frac{1}{2} A_{11} \left(1 - \sqrt{\frac{c_3}{c_2 + c_3}} \right). \quad (14)$$

Для упругой характеристики, представленной на рис. 5 б, функцию $F(z)$ можно описать следующей системой уравнений:

$$\begin{cases} F(z) = c_3 z & \text{при } -A_{11} < z \leq A_0, \\ F(z) = c_3 z + (z - A_0)c_2 & \text{при } A_0 < z \leq A_{12}, \end{cases} \quad (15)$$

где A_0 – величина зазора.

Подставляя значения (15) функции $F(z)$ в выражение (10), найдем

$$\begin{aligned} \int_{-A_{11}}^{A_{12}} F(z) dz &= \int_{-A_{11}}^{A_0} c_3 z \cdot dz + \int_{A_0}^{A_{12}} [c_3 z + (z - A_0)c_2] \cdot dz = \\ &= -c_3 A_{11}^2 + c_3 A_0^2 + c_2 (A_{12} - A_0)^2 = 0. \end{aligned} \quad (16)$$

Введем обозначение $A_0 = k_a A_{12}$ и, подставляя его в выражение (16), найдем

$$A_{12} = A_{11} \sqrt{\frac{c_3}{c_2(1 - k_a)^2 + c_3}}, \quad (17)$$

где $k_a = \sin \alpha$ – коэффициент зазора.

При этом определим среднее положение системы (центр колебаний), которое смещено влево от начала координат на величину

$$\Delta = \frac{1}{2}(A_{11} - A_{12}) = \frac{1}{2}A_{11} \left(1 - \sqrt{\frac{c_3}{c_2(1-k_a)^2 + c_3}} \right). \quad (18)$$

Используя выражение (9), полагая $\alpha=0$, и выражение (14), составим уравнение движения вибростола в вертикальном направлении при нулевом зазоре между ударными элементами и полимерным телом, т.е.

$$(m + m_n) \frac{d^2 z}{dt^2} + (b_1 + b_3) \frac{dz}{dt} + (c_1 + c_3 + \frac{\pi c_2}{8}) z = -(c_1 + c_3 + \frac{\pi c_2}{8}) \Delta + Q \sin \omega t - \frac{2Ac_2}{\pi} \cdot \left[\sin \omega t - \frac{\cos 2\omega t}{4} - \frac{\sin 3\omega t}{9} - \frac{\cos 4\omega t}{16} \right], \quad (19)$$

где m – масса вибростола вместе с пресс-формой;

m_n , c_1 и b_1 – приведенная масса, коэффициенты упругого и неупругого сопротивления порошковой смеси.

Используя выражения (9) и (18), составим уравнение движения вибростола в вертикальном направлении при определенном зазоре между ударными элементами и полимерным телом, т.е.

$$(m + m_n) \frac{d^2 z}{dt^2} + (b_1 + b_3) \frac{dz}{dt} + [c_1 + c_3 + \frac{c_2}{2} (\frac{\pi}{4} - \alpha + \frac{\alpha^2}{2\pi})] z = -[c_1 + c_3 + \frac{c_2}{2} (\frac{\pi}{4} - \alpha + \frac{\alpha^2}{2\pi})] \Delta + Q \sin \omega t - \frac{2Ac_2}{\pi} \left[(1 - \sin \alpha) \sin \omega t - \frac{\cos 2\alpha \cos 2\omega t}{4} - \frac{(1 + \sin 3\alpha) \sin 3\omega t}{9} - \frac{\cos 4\alpha \cos 4\omega t}{16} \right] \quad (20)$$

Поскольку уравнение (20) является более общим и при $\alpha=0$ превращается в уравнение (19), то и решение мы будем отыскивать только для уравнения (20).

Решение уравнения (20) для стационарных колебаний рассматриваемой динамической системы можно представить в следующем виде:

$$z = -\Delta + A_1 \sin(\omega_1 t - \varphi_1) + A_2 \cos(\omega_2 t + \varphi_2) + A_3 \sin(\omega_3 t - \varphi_3) + A_4 \cos(\omega_4 t + \varphi_4) \quad (21)$$

где A_i – амплитуда колебаний вибростола при угловой частоте ω_i , $i=1...4$;

$$\omega_1 = \omega; \quad \omega_2 = 2\omega; \quad \omega_3 = 3\omega; \quad \omega_4 = 4\omega; \quad (22)$$

φ_i - угол сдвига фаз,

$$\varphi_i = \arctg \left\{ (b_{1i} + b_3) \omega_i / [c_{1i} + c_3 + \frac{c_2}{2} (\frac{\pi}{4} - \alpha + \frac{\alpha^2}{2\pi}) - (m + m_{ni}) \omega_i^2] \right\}; \quad (23)$$

$$N(i) = \sqrt{[c_{1i} + c_3 + \frac{c_2}{2} (\frac{\pi}{4} - \alpha + \frac{\alpha^2}{2\pi}) - (m + m_{ni}) \omega_i^2]^2 + (b_{1i} + b_3)^2 \omega_i^2}; \quad (24)$$

$$A_1 = \frac{Q - \frac{2Ac_2}{\pi} (1 - \sin \alpha)}{N(1)}; \quad (25)$$

$$A_2 = \frac{2Ac_2 \cos 2\alpha}{\pi N(2)}; \quad (26)$$

$$A_3 = \frac{2Ac_2(1 + \sin 3\alpha)}{\pi N(3)}; \quad (27)$$

$$A_4 = \frac{2Ac_2 \cos 4\alpha}{\pi N(4)}. \quad (28)$$

Принимая в первом приближении $A = A_1$ и подставляя это значение в выражение (25), найдем

$$A_1 = \frac{Q}{N(1) + \frac{2c_2}{\pi}(1 - \sin \alpha)}. \quad (29)$$

Из рис. 5 следует, что

$$A_{11} = A + \Delta \approx A_1 + \Delta. \quad (30)$$

Подставляя выражение (30) в равенство (18), найдем

$$\Delta = A_1 \left(1 - \sqrt{\frac{c_3}{c_2(1 - k_a)^2 + c_3}} \right) / \left(1 + \sqrt{\frac{c_3}{c_2(1 - k_a)^2 + c_3}} \right). \quad (31)$$

Используя зависимости (23–28) определяются остальные элементы разложения в ряд.

Как правило, первое приближение дает достаточно точные результаты, приемлемые для инженерных расчетов. Используя метод последовательных приближений, можно уточнить полученные результаты на 0,5 – 1,5 %.

В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований было установлено, что при жесткости $c_2 = 2c_3$ обеспечивается устойчивая синхронизация вращения дебалансных вибровозбудителей круговых колебаний, обеспечивающая устойчивый режим работы вибростолла вибрационного прессы. При этом повышается эффективность уплотнения порошковой смеси в пресс-форме.

Список литературы: 1. Порошковая металлургия / С.С. Кипарисов, Г.А. Либенсон. – Москва: Металлургия, – 1980. – 496 с. 2. Пат. 69960 Україна, МПК В28В 1/08. Вібропрес для формування виробів з металевих порошків / Савелов Д.В., Драгобецький В.В.; заявник і патентовласник КрНУ ім. М. Остроградського. – № 200111937; заявл. 11.10.2012; опубл. 25.05.2012, Бюл. №10. – 5 с. 3. Биргер И.А. Прочность, устойчивость, колебания. Справочник в трех томах. Том 3. / И.А. Биргер. – М.: Машиностроение, 1968. – 568 с. 4. Тимошенко С.П., Колебания в инженерном деле / Янг Д.Х., Уивер У. Пер. с англ. Л.Г. Григолюка. – Москва: Машиностроение, 1985. – 472 с.

Надійшла до редколегії 25.09.2012

УДК 621.762.4

Исследование процесса уплотнения порошковой смеси на вибростоле с жестко-упругими ограничителями / Савелов Д. В. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення у сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХП». – 2012. – № 46(952). – С. 90-98. – Бібліогр.: 4 назв.

У статті приведені теоретичні дослідження робочого режиму і визначені основні параметри вібраційного преса, обладнаного вібростолом з двома вібраційними збудниками колових коливань і жорстко-пружними обмежувачами. Проведені дослідження послужили основою для створення простої та надійної конструкції вібраційного преса, обладнаного вібростолом, що здійснює вертикально направлені коливання разом з прес-формою і який забезпечує ефективне ущільнення порошкової суміші.

Ключові слова: робочий режим, вібраційний прес, металевий порошок, жорстко-пружний обмежувач.

The article deals with theoretical study of the operation mode and basic parameters of a vibration press equipped with vibration table unit with two vibration exciters of the circular vibration and stiff-plastics limiters. The conducted study has been used as a basis for the development of the simple and reliable construction of the vibration press equipped with vibration table unit that performs vertically directed vibrations with press-tool die and that provides an effective compression of the powder mix.

Key words: operation mode, vibration press, metal powder, stiff-elastic limiter.

УДК 621.983

В. І. СТЕБЛЮК, докт. техн. наук, проф., НТУУ «КП», Київ,
М. В. ОРЛЮК, канд. техн. наук, доц., НТУУ «КП», Київ,
О. В. ХОЛЯВІК, асистент, НТУУ «КП», Київ.

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ПРИБИ ВИТЯГУВАННІ КОРОБЧАСТИХ ДЕТАЛЕЙ ІЗ ЗАГОТОВОК, РОЗРАХОВАНИХ МЕТОДОМ ПОТЕНЦІАЛУ

Розглянуто витягування порожнистих виробів, які не мають осової симетрії. Наведені результати аналізу напружено-деформованого стану заготовки при витягуванні порожнистих виробів прямокутних у плані. Встановлено, що при використанні заготовок, форма і розміри яких розраховані за допомогою методу потенціалу відбувається суттєве зменшення розтягуючих напружень та критерію руйнування у небезпечному перерізі.

Ключові слова: витягування, коробчасті вироби, моделювання, “зворотне” витягування, “обернений” процес, метод потенціалу, оптимальна форма заготовки, розрахунок заготовки, проміжні переходи.

Вступ. На даний час не існує єдиного загального методу визначення розмірів і форми заготовки для витягування деталей коробчастої форми. У довідковій літературі наведено велику кількість рекомендацій різних авторів [1–4], що базуються на різноманітних припущеннях. До того ж алгоритм розрахунку та побудови заготовок відрізняється не лише у різних авторів, але і в межах рекомендацій одного автора в залежності від відносних розмірів деталей (рис. 1).

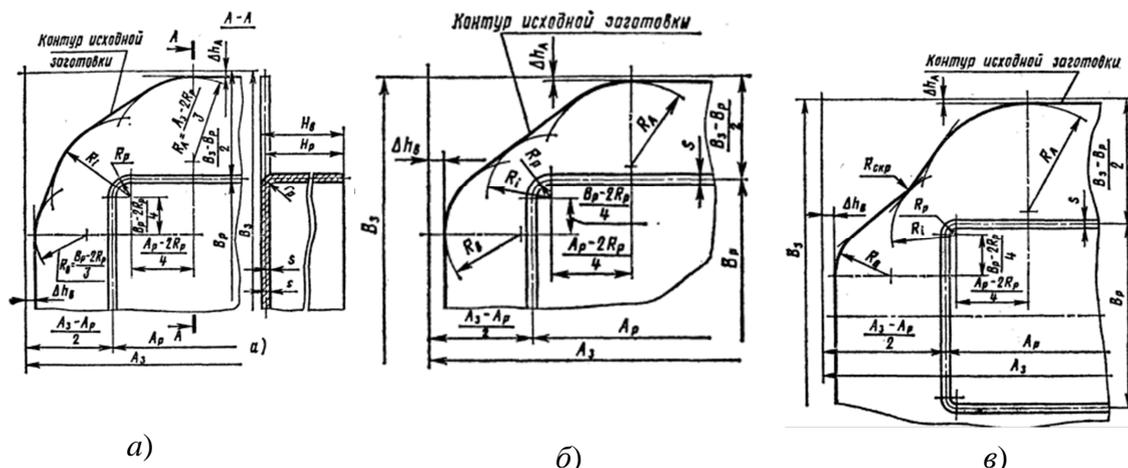


Рис. 1 – Варіанти побудови профілю кута заготовки для витягування низьких прямокутних коробок по Рудману Л.І. [4]: а – при $R > 0,54(h + 1,57r)$ – випуклий контур; б – при $R = 0,54(h + 1,57r)$ – пряма лінія; в – при $R < 0,54(h + 1,57r)$ – увігнутий контур.

Однак, навіть при суворому дотриманні всіх рекомендацій не можливо одразу отримати раціональну форму заготовки. На практиці доводиться поетапно корегувати розміри і форму заготовки, а іноді і робочого інструменту, методом «проб і помилок», що потребує значних матеріально-технічних, часових, а відповідно і економічних затрат. Тому розраховану таким чином заготовку слід розглядати як перше наближення до її раціональної форми та розмірів.

© В. І. Стеблюк, М. В. Орлюк, О. В. Холявік, 2012