

шественное стабилизирующее влияние на колебание угловой скорости кривошипа за цикл. В последствии стендовые исследования уровня вибронагруженности системы очистки подтвердили правильность допущения о незначительности влияния колебания частоты вращения ведущего звена на кинематические и силовые параметры МО.

Программные модули для кинетостатического анализа были выполнены вначале в среде MathCAD, затем – TurboPascal на ПЭВМ типа IBM PC. Программный комплекс может быть использован для аналитических исследований МО аналогичной структуры. Программные модули могут при необходимости дополняться и составляют основу для программы параметрического синтеза.

В результате испытаний образцов зерноуборочного комплекса КЗР–10 “Полесье–Ротор” было установлено, что для МО главный вектор сил инерции составляет около 1100Н, а главный момент тех же сил относительно центра масс достигает 806Нм. Центр масс МО описывает криволинейную фигуру, максимальные размеры которой в продольном и вертикальном направлениях составляют, соответственно, не более 3.97мм и 3.85 мм. Записанные в ходе эксперимента виброперемещения корпуса ОНП, индуцированные частично уравновешенным МО в продольном и вертикальном направлениях, составили, соответственно 0.051 и 0.049 мм.

Отличие данной работы от выполненных ранее [2] состоит в аналитической постановке задачи, проверенной на адекватность в процессе стендовых испытаний МО, в её современной программной реализации, позволившей за короткое время выполнить многовариантный кинетостатический анализ МО. Эффективность проведенных исследований подтверждена надёжной работой механизмов очистки как в зерноуборочном комплексе КЗР–10, так и на монокомбайнах КЗС–10 и КЗС–7.

#### *Литература*

1. Шуринов В.А. Зерноуборочный комплекс КЗР–10 «Полесье–Ротор». //Международный аграрный журнал. – 2000. – №3.
2. Литвинов А.И, Мещеряков И.К., Курач А. И.. Уравновешенная очистка для зерноуборочного комбайна. //Тракторы и сельхозмашины. – 1988. – №3.
3. Щепетильников В.А. Уравновешивание механизмов. – М.: Машиностроение, 1982.– 256 с.: ил.
4. Фролов К.В., Попов С.А., Мусатов А.К. и др. Теория механизмов и машин. – М.: Высш. шк., 1987.– 496с.: ил.

## **СИЛОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОЦЕССА СОВМЕСТНОЙ ВЫТЯЖКИ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ОСНОВЫ И МЕТАЛЛОПОРОШКОВОГО ПОКРЫТИЯ**

**Н. И. Стрикель, М. И. Лискович**

*Гомельский государственный технический университет  
им. П. О. Сухого, Республика Беларусь*

Целью исследования является разработка аналитической зависимости одного из важнейших интегрированных параметров процесса совместной вытяжки покрытия и основы – величины усилия совместной вытяжки от параметров процесса, таких как величины степеней деформации металлической основы и покрытия, начальной и конечной пористости покрытия, механических свойств материала основы и составляющих материалов покрытия, условий трения между инструментом и основой, материалов покрытия и основой, материалом покрытия и инструментом, геометрии и состояния контактных поверхностей инструмента.

Знание величины усилия совместной вытяжки необходимо для подбора оборудования и определения энергетических затрат на выполнение процесса. По характеру изменения усилия совместной вытяжки можно, в значительной степени, судить об изменении других, связанных с этой величиной параметров процесса.

Наиболее обстоятельно напряжённое состояние при вытяжке листового металла в различных участках очага деформации изучено Е.А. Поповым [1,2]. Используя приведённую им методику и расчётные зависимости, внесём в них дополнения и видоизменения, таким образом, чтобы сделать возможным учёт влияния процесса деформации порошкового материала на процесс деформации основы.

Усилие совместной вытяжки будем определять в следующем виде:

$$P = \sigma_{p_{\max}} \cdot \pi \cdot (D_M - s) \cdot s + P_{mp}, \quad (1)$$

где первое слагаемое учитывает величину усилия необходимого для вытяжки основы с учётом влияния давления и сил трения со стороны порошка;  $P_{mp}$  – усилие, затрачиваемое на трение порошка по пуансону;  $\sigma_{p_{\max}}$  – максимальное растягивающее напряжение, действующее в материале основы, направление которой показано на рис. 1;  $D_M$  – диаметр цилиндрического отверстия в матрице;  $s$  – толщина материала основы.

Для определения  $\sigma_{p_{\max}}$  используем аналогичную зависимость, приведённую в [1] на стр. 377, дополнив её слагаемым, учитывающим  $\sigma_{\text{доп}_{\max}}$  – максимальное дополнительное напряжение, необходимое на преодоление сил трения между порошком и основой и увеличение сил трения между основой и матрицей за счёт прижима основы к матрице давлением  $p$ :

$$\sigma_{p_{\max}} = \sigma_{s_o} \left\{ \left( 1 + \frac{tg \alpha}{f_M} \right) \left[ 1 - \left( \frac{R_u}{R_1} \right)^{\frac{f_M}{tg \alpha}} \right] + \left( \ln \frac{R_3}{R_1} + \frac{s}{2R_\rho} \right) \times \left( \frac{R_u}{R_1} \right)^{\frac{f_M}{tg \alpha}} + \frac{s}{2R_1 + s} + \frac{\sigma_{\text{доп}_{\max}}}{\sigma_{s_o}} \right\} e^{f_M \alpha}, \quad (2)$$

где  $\sigma_{s_o}$  – сопротивление материала основы пластическому деформированию;  $\alpha$  – угол наклона рабочей поверхности матрицы к вертикали;  $f_M$  – коэффициент трения основы по матрице;  $R_u$  – радиус основы в изделии;  $R_1$  – радиус среднего слоя основы в начале конического участка;  $R_3$  – радиус полой заготовки основы по среднему слою;  $R_\rho$  – радиус кривизны срединной поверхности основы в меридианном сечении на участке перехода цилиндрической части заготовки основы в коническую;  $R_M$  – радиус скругления при переходе конической части отверстия в матрице в цилиндрическую.

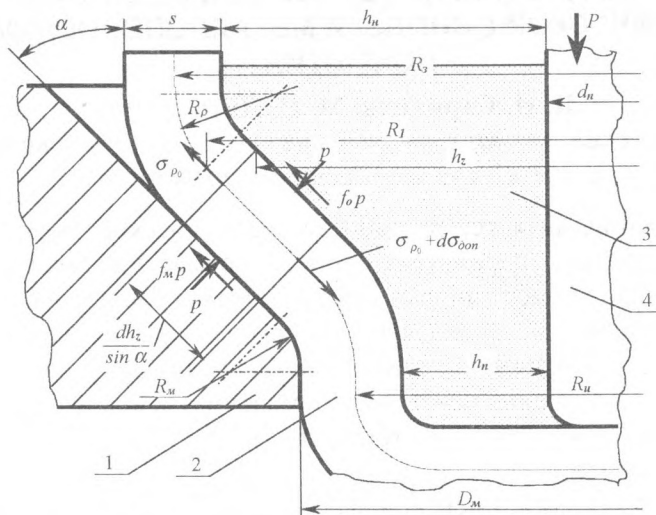


Рис. 1. Схема процесса совместной вытяжки покрытия и основы: 1 – матрица; 2 – металлическая основа; 3 – металлопорошковый состав; 4 – пуансон.

Величину  $\sigma_{\text{донmax}}$  получим из условия равновесия кольцевого элемента основы толщиной  $s$  шириной  $\frac{dh_z}{\sin \alpha}$  (см. рис. 1), после интегрирования, используя в качестве величины  $p$  давления порошка на основу, полученную ранее зависимость (6) на стр.19 [3], при  $h_z=h_n$ :

$$\sigma_{\text{донmax}} = \frac{f_o + f_m}{s \cdot \cos \alpha} \left( \frac{h_n}{h_n} v_n \right)^m h_n \left\{ \left[ \sigma_s + \sigma_{mc} \frac{(m-1) \cdot \text{tg } \alpha}{f_o + f_n - m \cdot \text{tg } \alpha} \right] \frac{1}{\text{tg } \alpha - f_o - f_n} \times \right. \\ \left. \times \left[ \left( \frac{h_n}{h_n} \right)^{\frac{f_o + f_n - \text{tg } \alpha}{\text{tg } \alpha}} - 1 \right] + \frac{\sigma_{mc}}{f_o + f_n - m \cdot \text{tg } \alpha} \left[ \left( \frac{h_n}{h_n} \right)^{m-1} - 1 \right] \right\}, \quad (3)$$

где  $f_o$  – коэффициент трения между порошком и основой;  $h_n$  – толщина покрытия;  $h_n$  – начальная толщина порошкового слоя;  $v_n$  – относительная плотность покрытия;  $m$  – опытный коэффициент;  $\sigma_s$  – предел текучести основной металлической составляющей порошка;  $\sigma_{mc}$  – усреднённое значение сопротивления деформации основной металлической составляющей порошка.

Величину дополнительного усилия  $P_{mp}$ , затрачиваемого на трение порошка по пуансону определим, интегрируя касательные напряжения вдоль поверхности пуансона при изменении  $h_z$  в диапазоне от  $h_n$  до  $h_n$ :

$$P_{mp} = \frac{\pi \cdot f_n \cdot d_n}{\cos \alpha} \left( \frac{h_n}{h_n} v_n \right)^m h_n \left\{ \left[ \sigma_s + \sigma_{mc} \frac{(m-1) \cdot \text{tg } \alpha}{f_o + f_n - m \cdot \text{tg } \alpha} \right] \frac{1}{\text{tg } \alpha - f_o - f_n} \times \right. \\ \left. \times \left[ \left( \frac{h_n}{h_n} \right)^{\frac{f_o + f_n - \text{tg } \alpha}{\text{tg } \alpha}} - 1 \right] + \frac{\sigma_{mc}}{f_o + f_n - m \cdot \text{tg } \alpha} \left[ \left( \frac{h_n}{h_n} \right)^{m-1} - 1 \right] \right\}, \quad (4)$$

где  $d_n$  – диаметр пуансона.

Подставив в (1) значение  $\delta_{p_{\text{max}}}$  из (2) и значение  $P_{mp}$  из (4) получим формулу для расчёта усилия совместной вытяжки:

$$P = \pi \cdot (D_m - s) \cdot s \cdot \sigma_{s_o} \left\{ \left( 1 + \frac{\text{tg } \alpha}{f_m} \right) \left[ 1 - \left( \frac{R_u}{R_l} \right)^{\frac{f_m}{\text{tg } \alpha}} \right] + \left( \ln \frac{R_2}{R_1} + \frac{s}{2R_p} \right) \times \left( \frac{R_u}{R_l} \right)^{\frac{f_m}{\text{tg } \alpha}} + \frac{s}{2R_m + s} + \right. \\ \left. + \frac{\sigma_{\text{донmax}}}{\sigma_{s_o}} \right\} e^{f_m \alpha} + \frac{\pi \cdot f_n \cdot d_n}{\cos \alpha} \left( \frac{h_n}{h_n} v_n \right)^m \times \left\{ \left[ \sigma_s + \sigma_{mc} \frac{(m-1) \cdot \text{tg } \alpha}{f_o + f_n - m \cdot \text{tg } \alpha} \right] \times \right. \\ \left. \times \frac{1}{\text{tg } \alpha - f_o - f_n} \left[ \left( \frac{h_n}{h_n} \right)^{\frac{f_o + f_n - \text{tg } \alpha}{\text{tg } \alpha}} - 1 \right] + \frac{\sigma_{mc}}{f_o + f_n - m \cdot \text{tg } \alpha} \left[ \left( \frac{h_n}{h_n} \right)^{m-1} - 1 \right] \right\}. \quad (5)$$

На рис. 2 представлены расчётные, по формуле (5), и экспериментальные значения усилия совместной вытяжки.

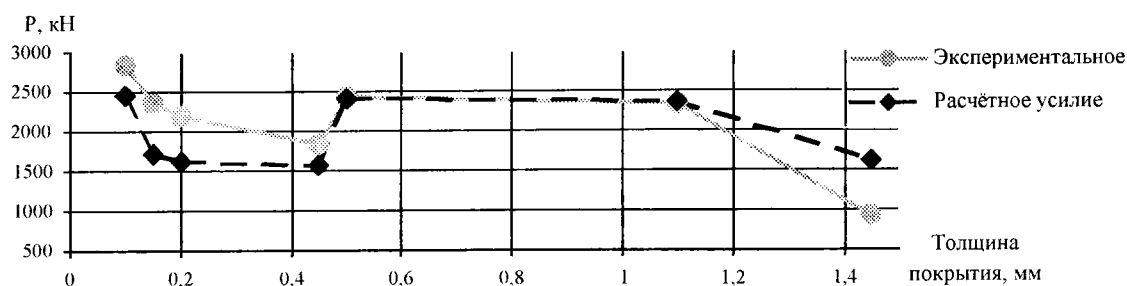


Рис. 2. Расчётные и экспериментальные значения усилия совместной вытяжки в зависимости от толщины покрытия

Сравнение расчётных и опытных значений свидетельствуют о возможности использования полученной аналитической зависимости в практических расчётах. Ступенчатый характер средних опытных и расчётных значений вызваны различными значениями толщин основы и различием механических свойств материала основы.

Таким образом, проведённое теоретическое исследование силовых параметров процесса совместной вытяжки металлической основы и металлопорошкового покрытия позволило получить пригодную для практического применения расчётную зависимость величины усилия совместной вытяжки от основных параметров процесса.

#### Литература

1. Сторожев М.В., Попов Е.А. Теория обработки металлов давлением. – М.: Машиностроение, 1971.
2. Попов Е.А. Основы теории листовой штамповки. – М.: Машиностроение, 1977.
3. Стрикель Н.И., Бобарикин Ю.Л., Лискович М.И. Формирование металлопорошкового покрытия при глубокой вытяжке основы. // *Материалы, технологии, инструменты*. – Гомель, 1999. – № 4. – С. 18–22

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ПОВОРОТА УПРАВЛЯЕМОГО МОСТА УНИВЕРСАЛЬНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СРЕДСТВА

В. Б. Попов

*Гомельский государственный технический университет  
им. П. О. Сухого; ГСКБ по зерноуборочной и кормоуборочной технике,  
Республика Беларусь*

Одним из конструктивных критериев качества универсального энергосредства (УЭС), во многом определяющим маневренность машины, является его минимальный радиус поворота, характеризующий площадь, необходимую для разворота УЭС при круговом движении. Чем меньше радиус поворота, тем лучше и поворотливость машины, выражаемая в её способности к выполнению поворотов на местности и дороге [1]. Минимизация радиуса поворота УЭС, обеспечиваемого посредством механизма поворота (МП) управляемого моста (рис. 1), существенна ещё и потому, что УЭС эксплуатируется, как правило, в комплексе с навешенным адаптером или прицепной машиной.

МП предназначен для поддержания заданного направления движения УЭС и изменения его в случае необходимости. При этом он должен поддерживать определенное соотношение между углами поворота управляемых колес, обеспечивающее качение всех колес без бокового скольжения и без боковых деформаций шин [2]. Для этого управляе-