

С.В.БОНДАРЬ, канд.техн.наук, ст.науч.сотр., НТУ «ХПИ»;
Д.В.ЛАВИНСКИЙ, канд.техн.наук, доц., НТУ «ХПИ»

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАГНИТНОГО ДАВЛЕНИЯ В УГЛАХ ПРИ ДЕФОРМИРОВАНИИ ЛИСТОВЫХ ЗАГОТОВОК

Представлено нову схему магнітно-імпульсного штампування у кутах листової заготовки. За допомогою перетворення Лапласу розв'язані диференціальні рівняння Максвела. Знайдені розподіли напруженостей магнітного поля та магнітного тиску на заготовку.

The new scheme of pulse-magnetic stamping of sheet slug corners was presented. The differential equations of Maxwell was solved by Laplas method. The distribution of magnetic field components and magnetic pressure were presented.

Актуальность проблемы. Реализация ряда технологических операций при плоской штамповке листовых металлов требует концентрации сил давления для «заполнения углов» соответственно требуемой форме готового изделия. Практически, это означает получение достаточно четких углов с допустимым по условиям производственной операции уровнем скруглений [1,2]. Формовка углов в изгибах не ограничивается исключительно вышеуказанной производственной операцией, на самом деле силовое воздействие на листовые металлы в зонах их изгиба присутствует как составляющая довольно широкого класса штамповочных технологий. Одним из важнейших вопросов при разработке новых операций магнитно-импульсных методов является вопрос о целенаправленном силовом воздействии на область заготовки, подлежащую деформированию в соответствии с производственным заданием. Здесь необходимы оригинальные предложения по конструкциям инструментов метода в сочетании с анализом электродинамических процессов в системе «индуктор-заготовка» и последующими рекомендациями по их практическому исполнению и взаимному расположению.

Постановка задачи. Рассмотрим вопросы определения магнитного давления при деформировании угловой зоны листовой заготовки. Сконцентрировать и направить силы точно в угол можно, если применять индукторную систему, предложенную на рис. 1. Здесь токопроводы расположены симметрично относительно биссектрисы угла изогнутого металлического листа. При решении полагаем: угол в зоне изгиба плоского металлического листа приближается к $\pi/2$; приемлема декартова прямоугольная система координат; одновитковый соленоид прямоугольной формы выполнен из достаточно тонкого проводника и обладает достаточно большой протяженностью в измерении, соответствующем оси ОХ, так что $\frac{\partial}{\partial x} = 0$; электропроводность обраба-

тываемого металла довольно высока, так что допустимо приближение резкого поверхностного эффекта; по токопроводам витка, параллельным оси OX, протекает один и тот же ток $I_x(t) = I(t)$ (t – время в сек.), но в токопроводе с координатами (ℓ, h) его направление совпадает с положительным направлением оси OX, а в токопроводе с координатами (L, H) и (R, G) наоборот.

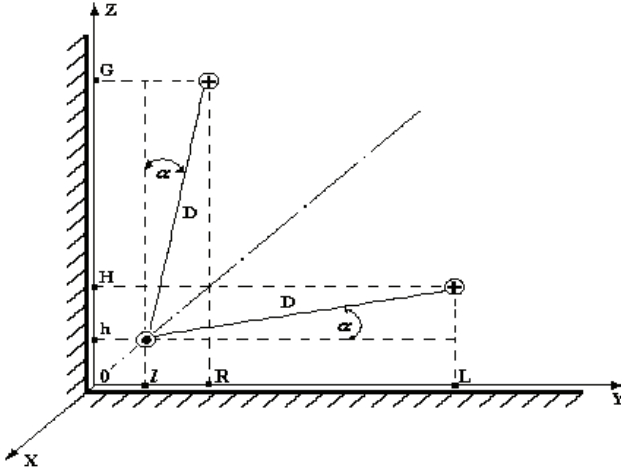


Рисунок 1 – Расчетная схема

Уравнения Максвелла для нетривиальных составляющих напряженности электромагнитного поля, преобразованных по Лапласу с учетом нулевых начальных условий, в пространстве между взаимно ортогональными плоскостями металлического листа ($y \geq 0, z \geq 0$) имеют вид:

$$\frac{\partial H_z(p, y, z)}{\partial y} - \frac{\partial H_y(p, y, z)}{\partial z} = j_x(p, y, z); \quad (1)$$

$$\frac{\partial E_x(p, y, z)}{\partial z} = -p\mu_0 H_y(p, y, z); \quad (2)$$

$$\frac{\partial E_x(p, y, z)}{\partial y} = p\mu_0 H_z(p, y, z), \quad (3)$$

где p – параметр интегрального преобразования Лапласа, $j_x(p, y, z)$ – плотность стороннего тока – тока в токопроводе,

$$j_x(p, y, z) = I(p) \cdot [\delta(z-h) \cdot \delta(y-l) - \delta(z-H) \cdot \delta(y-L)], \quad I(p) = L\{I(t)\},$$

$\delta(z), \delta(y)$ – дельта-функции Дирака,

$$E_x(p, y, z) = L\{E_x(t, y, z)\}, H_{y,z}(p, y, z) = L\{H_{y,z}(t, y, z)\}.$$

При условии резкого поверхностного эффекта выражения для сил магнитного давления на проводящие плоскости $z = 0$ и $y = 0$ записываются в виде:

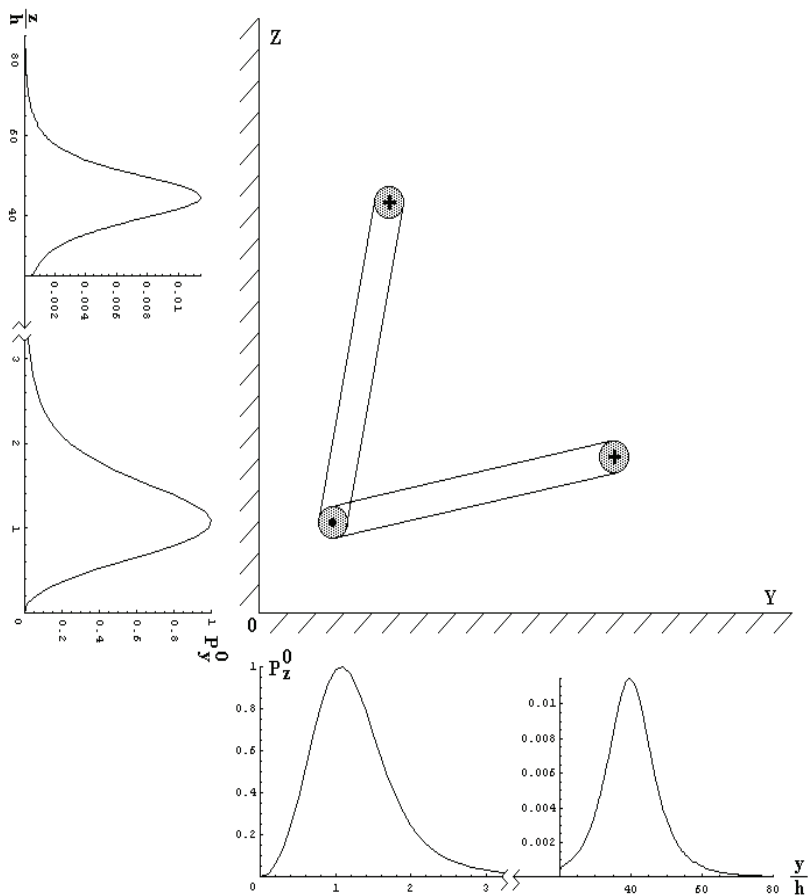


Рисунок 2 – Распределение сил магнитного давления вдоль поверхностей углового изгиба листовой заготовки

а) горизонтальная плоскость,

$$P_z^0(y, z=0) = \left(H_y^0(y, z=0) \right)^2, \quad (4)$$

где $P_z^0(y, z=0)$ – относительное давление,

$$P_z^0(y, z=0) = \frac{\left(\frac{\mu_0 H_y^2(t, y, z=0)}{2} \right)}{\left(\frac{\mu_0 H_m^2(t)}{2} \right)}, \quad H_m(t) = \frac{I(t)}{(\pi \cdot h)}, \quad (5)$$

б) вертикальная плоскость,

$$P_y^0(y=0, z) = \left(H_z^0(y=0, z) \right)^2, \quad (6)$$

где $P_y^0(y=0, z)$ – относительное давление,

$$P_y^0(y=0, z) = \frac{\left(\frac{\mu_0 H_z^2(t, y=0, z)}{2} \right)}{\left(\frac{\mu_0 H_m^2(t)}{2} \right)}. \quad (7)$$

Анализ полученных результатов и выводы. Далее остановимся более подробно на результатах распределения магнитного давления, приведенных на рис. 2. Как следует из результатов расчета, в данной индукторной системе на поверхность вблизи углового изгиба металлического листа будут действовать одинаковые по величине силы магнитного давления. Их равнодействующая будет направлена строго в центр угла, а ее амплитуда превышает амплитуду координатной составляющей в $\sqrt{2}$ раз. Таким образом, предложенный вариант индукторной системы с двумя витками прямоугольной формы, позволяет максимально сконцентрировать силы магнитного давления в центре угла изогнутого металлического листа и одновременно разгрузить удаленные области деформируемой заготовки.

Список литературы: 1. Proceedings of the 1-st International Conference on High Speed Metal Forming. March 31 / April 1. 2004. Dortmund, Germany. 2. Бельый И.В., Фертик С.М., Хименко Л.Т. Справочник по магнитно-импульсной обработке металлов. – Харьков: Вища школа. 1977. – 189 с.

Поступила в редакцию 11.11.2009