

2. Величина "паразитной" протяженности индуктора зависит от угла конусности заготовки и кривизны образующей оболочки (стрелы прогиба).

3. При значениях $l/l_0 \geq 0,25$, характеризующих однопереходную многоимпульсную штамповку ожевал, имеют место значительные потери электроэнергии и резкое снижение КПД при первых импульсах.

Л и т е р а т у р а

И. К о н о в а л о в Е.Г., В о л к о в В.А. Метод расчета токов в индукторе и заготовке при электромагнитной формовке. Вестник АН БССР, серия физико-технических наук, 1968, № 1.

УДК 621.7.044.7

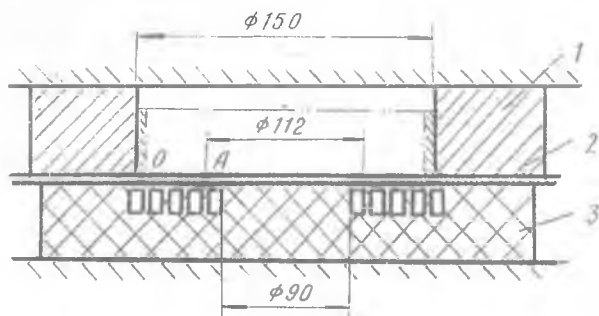
Г.З.Исарович, В.П.Князев

ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ ОТБОРТОВКЕ

Метод магнитно-импульсной штамповки применяется при выполнении операций отбортовки отверстий на заготовках из листового материала. Процесс отбортовки характеризуется неравномерностью распределения давления по борту заготовки в различные моменты времени. Учет распределения давления достаточно сложен, поэтому в некоторых работах [1] принимается, что время разгона заготовки составляет не более 10% от времени деформирования, и нагрузка считается приложенной к заготовке мгновенно или распределение давления по борту заготовки считается равномерным, но величина его изменяется во времени.

Результаты обработки СФР-грамм процесса показывают, что при штамповке отбортовок на заготовках из материалов типа АМг6М толщиной свыше 1 мм на установках с частотой разряда порядка 5-30кГц время разгона составляет примерно треть времени деформирования. Таким образом, для правильного расчета процесса отбортовки необходимо знать величину и характер распределения давления магнитного поля в различные моменты времени при разгоне заготовки.

В настоящей работе излагается метод расчета давления магнитного поля при отбортовке круглых отверстий на листовых заготовках. Схема процесса приведена на рис. 1.



Р и с. 1. Схема процесса отбортовки: 1-матрица; 2-заготовка; 3 - индуктор

Введем следующие допущения:

1. В условиях резко выраженного поверхностного эффекта силы приложены к поверхности заготовки и направлены нормально к ней.
 2. Радиусы скругления матрицы не учитываются.
 3. Краевые эффекты учитываются поправочным коэффициентом.
- Из физических соображений предположим, что линии магнитного поля H направлены перпендикулярно тороидальной поверхности, образованной вращением дуги AA^I вокруг оси симметрии Z (рис. 2).
По закону полного тока

$$\oint_{\ell} \vec{H} d\vec{\ell} = iN, \quad (1)$$

где H - напряженность магнитного поля;
 ℓ - длина контура обхода;
 i - ток в витке;
 N - число витков индуктора, охватываемых контуром.

Выберем путь интегрирования, как показано на рис. 2.

Тогда

$$H_1(z)dz + H_2(z)dz = idn, \quad (2)$$

откуда

$$H_1(z) + H_2(z) = iK, \quad (3)$$

где

$$K = \frac{dn}{dz} = \frac{N}{R - R_H} \quad (4)$$

N - полное число витков индуктора.

Предположим, что площадь, пронизываемая магнитным потоком под витками, представляет собой площадь цилиндрической поверхности радиусом

$R_{cp} = \frac{R + R_H}{2}$ и высотой $R - R_H$, что подтверждается

расчетом, выполненным в соответствии с [2] для плоского незранированного многовиткового индуктора.

Тогда

$$\frac{H_1(z)}{H_2(z)} = \frac{R - R_H}{\alpha(R - z) + h} \quad (5)$$

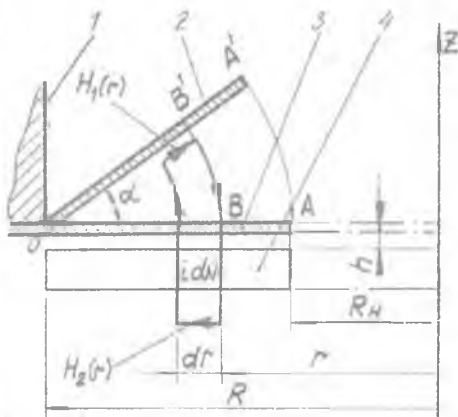
Здесь α - угол отбортовки;
 h - "эквивалентный" зазор между индуктором и заготовкой.

Выражая $H_2(z)$ через $H_1(z)$ и подставляя полученное соотношение в уравнение (2), имеем

$$H_1(z) = i \frac{N}{R - R_H + \alpha(R - z) + h} \quad (6)$$

С учетом краевых эффектов имеем

$$H_1(z) = i \frac{NK(z, \alpha)}{R - R_H + \alpha(R - z) + h} \quad (7)$$



Р и с.2. Расчетная схема для определения давления магнитного поля: 1-матрица; 2-борт заготовки; 3-начальное положение борта заготовки; 4-многовитковый плоский индуктор

При $\alpha = 0$ и $h \ll R - R_H$

$$H_r(z) = \frac{iNK(z, \alpha)}{R - R_H - h} \quad (8)$$

Определим индуктивность L_{u-3} системы индуктор-заготовка для фиксированного значения угла отбортовки α .

Имеем

$$L_{u-3} = \frac{\Psi}{I} \quad (9)$$

где Ψ - полное потокоцепление системы "индуктор-заготовка"

$$\Psi = \int_0^N \Phi(z) dz = \int_0^N \mu_0 H(z) S(z) dz \quad (10)$$

Здесь $S(z)$ - площадь поверхности, образованная вращением BB^I вокруг оси z ; ;

μ_0 - магнитная постоянная.

Подставляя (4) в равенство (10) и меняя пределы интегрирования, получим

$$\Psi = \mu_0 \frac{N}{R - R_H} \int_{R_H}^R H(z) S(z) dz \quad (11)$$

Откуда

$$L_1 = \mu_0 \frac{N^2}{R - R_H} \int_{R_H}^R \frac{S(z) dz}{R - R_H + \alpha(R - z) + h} \quad (12)$$

Полную индуктивность контура можно записать:

$$L = L_1 + L_2 \quad (13)$$

где L_2 - индуктивность установки и токовыводов.

Ток в индукторе определяем, полагая $R \ll \sqrt{\frac{L}{C}}$:

$$i = \sqrt{\frac{2W}{L}} e^{-\sigma t} \sin \omega t \quad (14)$$

где W - энергия заряда батареи;

ω - круговая частота разряда;

- текущее значение времени;
- σ - показатель затухания колебаний, величина которого при штамповке отбортовок средних размеров находится в пределах $(2 - 7) \cdot 10^{-2}$;
- R - активное сопротивление контура;
- C - емкость конденсаторной батареи.

Давление магнитного поля в каждой точке борта определяется по формуле

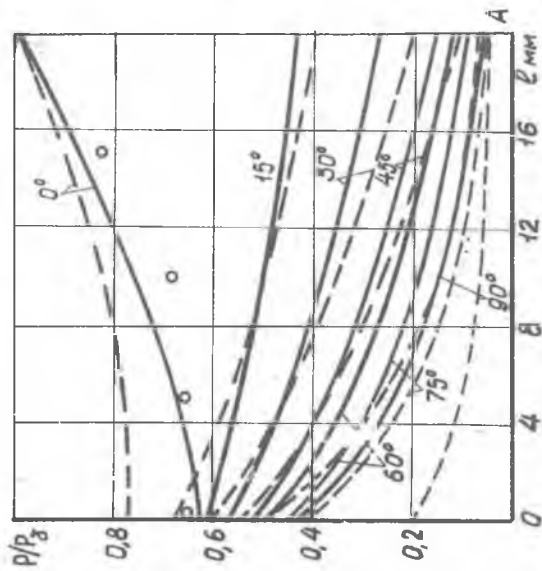
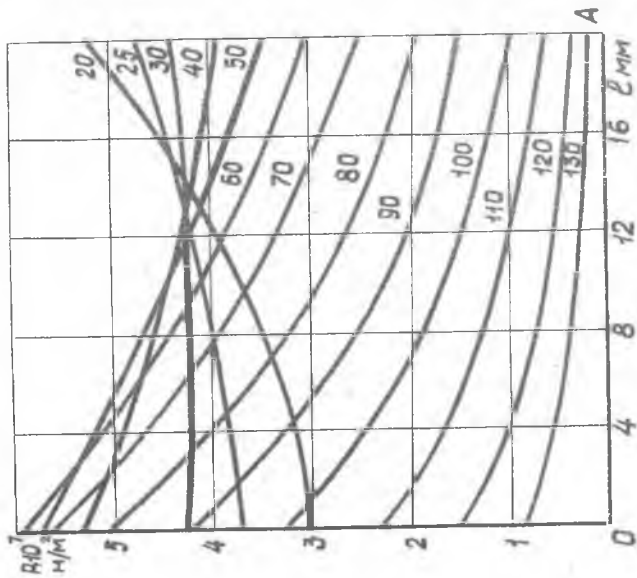
$$p(z) = \frac{H(z) \mu_0}{2} \quad (15)$$

Давление для углов отбортовки, кратных 15 градусам, сравнилось с данными, полученными экспериментальным путем на моделях и магнитно-импульсной установке.

Для исследования топографии поля на моделях были изготовлены образцы с углами отбортовки 15, 30...90°. Замеры напряженности проводились индукционными датчиками вдоль борта с шагом 5 мм по методике, изложенной в работе [3]. Полученные результаты использовались для расчета давления и построения графиков в относительных величинах. За базовое принималось максимальное давление, полученное в эксперименте. На рис. 3 представлены эпюры распределения давления по борту заготовки для углов, кратных 15 градусам, полученные расчетным путем на моделях и на установке. Если угол отбортовки $\alpha = 0$, то максимальная величина давления наблюдается у внутренней кромки заготовки. С увеличением угла отбортовки давление падает и пик его смещается к радиусугиба матрицы.

Для определения давления на заготовку в каждый момент времени необходимо знать угол отбортовки, который определяется путем полного расчета процесса отбортовки. На рис. 4 представлены эпюры давления магнитного поля в моменты времени 20, 25, 30, 40... 130 мкс, построенные для процесса отбортовки заготовки из АМг6М толщиной 1,5 мм по схеме, приведенной на рис. 1. Положение борта в каждый момент времени определялось по СФР-грамме.

Результаты сравнения расчетных и экспериментально полученных данных показывают, что предложенная методика позволяет с удовлетворительной точностью определять давление магнитного поля в любой точке в каждый момент времени. Расхождение расчетных и экспериментальных результатов для различных положений борта не превышает



Р и с. 3. Эпюры давления при отбортовке: — расчет; --- эксперимент на модели; о — эксперимент на установке

Р и с. 4. Эпюры давления магнитного поля при отбортовке отверстия $\varnothing 150$ мм, $W = 6,8$ кДж

10-15 процентов при малых углах отбортовки и 15 - 20 процентов при углах отбортовки больших 45 градусов.

Л и т е р а т у р а

1. Б у р а в л е в Д.Т. Исследование процесса отбортовки импульсным магнитным полем. Автореферат кандидатской диссертации. М., 1973, 14 с.

2. К а л а н т а р о в П.Л., Ц е й т л и н Л.А. Расчет индуктивностей. М.-Л., Государственное энергетическое издательство, 1966, 608 с.

3. О в ч и н н и к о в Ю.М., Л е б е д е в Г.М., И с а р о в и ч Г.З. и др. О методике определения давления магнитного поля плоских индукторов при импульсной обработке. "Вопросы технологии производства летательных аппаратов. Сборник трудов, вып. 41. КуАИ, 1970, с. 165.

УДК 621.961.2.678.666

П.Я.Пытьев

О РАСЧЕТЕ ДАВЛЕНИЯ ЭЛАСТИЧНОЙ СРЕДЫ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЙ

В настоящей работе приведены элементарные теоретические инженерные формулы и даны рекомендации по расчету давления со стороны эластичной среды при выполнении разделительных операций.

Схема деформирования заготовки в зоне режущей кромки B жесткого инструмента (пуансона или матрицы) в процессе разделительной штамповки эластичной средой представлена на рис. 1. В этой зоне в штампуемом материале возникает сложное неоднородное силовое поле, учесть все особенности которого при анализе условий деформирования весьма трудно. Поэтому при выводе основных зависимостей, в целях упрощения задачи, используется ряд допущений. В частности, принимается, что деформации и напряжения по сечению BE заготовки в зоне смещения одной части материала относительно другой распределены равномерно. При этом условии, очевидно, будет равномерным и упрочнение материала в процессе штамповки.

В основу вывода расчетных формул положена гипотеза максимальных касательных напряжений, согласно которой предельное состояние