

УДК 624.318

АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ В ИНСТРУМЕНТАХ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЙ РЕМОНТА АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Д.О. Смирнов, аспирант, ХНАДУ

Аннотация. Экспериментально исследованы традиционные технологии магнитно-импульсной обработки металлов.

Ключевые слова: индукторная система, источник энергии, неферромагнитный металл.

АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ В ІНСТРУМЕНТАХ МАГНІТНО-ІМПУЛЬСНОЇ ОБРОБКИ МЕТАЛІВ ДЛЯ ТЕХНОЛОГІЙ РЕМОНТУ АВТОТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Д.О. Смирнов, аспірант, ХНАДУ

Анотація. Експериментально досліджено традиційні технології магнітно-імпульсної обробки металів.

Ключові слова: індукторна система, джерело енергії, неферомагнітний метал.

ANALYSIS OF PROCESSES IN TOOLS FOR MAGNETIC-PULSE TREATMENT OF METALS FOR REPAIR TECHNOLOGIES OF VEHICLES

D. Smirnov, post-graduate, KhNAHU

Abstract. Traditional techniques of magnetic-pulse treatment of metals are investigated experimentally.

Key words: inductor system, energy source, nonferromagnetic metal.

Введение

Для сборки элементов механических рамных конструкций из лёгких прочных металлических сплавов на основе алюминия и магния, получивших широкое распространение в современном промышленном производстве, необходимы новые способы их относительной фиксации.

В отличие от механических способов, где силовое воздействие определяется только инструментом и никак не связано с внутренними процессами внутри обрабатываемой заготовки, в магнитно-импульсных технологиях давление на металл возникает только при взаимодействии именно магнитного поля с индуцированными токами, и рассматривать в отдельности, а затем проектировать источ-

ник магнитного поля как независимый инструмент силового воздействия нельзя.

Для успешного выполнения производственной операции по «раздаче» полых трубчатых заготовок с прямоугольной формой поперечного сечения в первую очередь необходима концентрация усилий во внутренних углах деформируемого профиля, поскольку именно здесь его жёсткость достигает максимума.

Повышение эффективности целенаправленного силового воздействия во внутренней полости деформируемой прямоугольной трубы возможно за счёт применения четырёх одновитковых соленоидов, последовательно соединённых между собой и расположенных так, чтобы линейная суперпозиция полей, возбуждаемых каждым из них, обеспечивала квадратичный рост амплитуды магнитного

давления в угловых зонах деформируемого профиля.

Анализ публикаций

Магнитно-импульсные технологии позволят реализовать на практике так называемую холодную сварку, в основе которой – взаимная диффузия соединяемых металлов при достаточно высоких скоростях соударения.

Известные методы традиционной сварки оказываются не эффективными или вообще не работоспособными [1].

Для магнитно-импульсной сборки достаточно жестких рамных конструкций из металлов с высоким уровнем предела текучести необходимы индукторные системы, развивающие мощные и строго направленные силы давления [2, 3].

Цель и постановка задачи

Целью работы явилось исследование индукторных систем – инструментов для магнитно-импульсного сочленения элементов сборных металлических конструкций на основании анализа электродинамических усилий, действующих на объект обработки и позволяющих реализацию производственной операции «раздача».

Простейшим вариантом конструкции индукторной системы для раздачи труб прямоугольного сечения является конструкция из протяженных одновитковых соленоидов, размещенных внутри трубы компланарно плоскостям противоположных стенок так, что их длинные токопроводы параллельны и проходят вдоль угловых изгибов прямоугольного профиля.

Схематически предлагаемая индукторная система и, соответственно, принимаемая расчетная модель иллюстрируются на рис. 1. Проводники, помеченные цифрами 1, 2, 3 и 4, – это протяженные токопроводы витков. Их поперечное сечение – квадрат со стороной d .

Итак, уточним постановку задачи:

– углы поперечного профиля в изгибах полый металлической трубы приближаются к $\approx \pi/2$;

– одновитковые соленоиды прямоугольной формы выполнены из проводников квадратного сечения $d \times d$ и обладают достаточно большой протяженностью в измерении, соответствующем оси OX , так что $\frac{\partial}{\partial x} = 0$;

– электропроводность обрабатываемого металла и действующие рабочие частоты настолько высоки, что допустимо приближение резкого поверхностного эффекта;

– по токопроводам витков, параллельных оси OX , протекает один и тот же по величине ток $I_x(t) = I(t)$ (t – время в секундах).

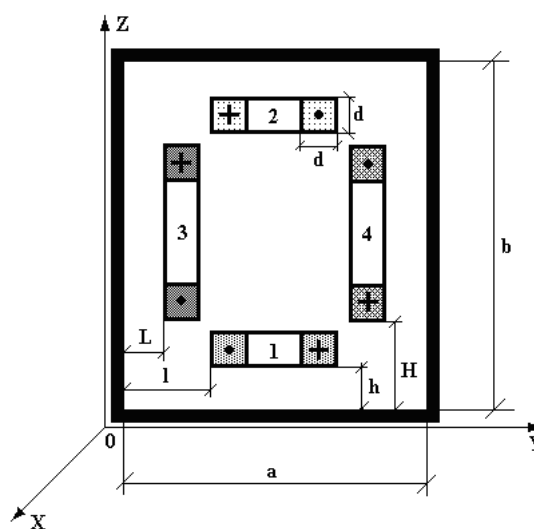


Рис. 1. Схема индукторной системы

При решении задач раздачи необходимо решить уравнения Максвелла для нетривиальных компонент вектора поля, преобразованных по Лапласу с учётом нулевых начальных условий, возбуждаемых во внутренней полости.

$$\begin{cases} \frac{\partial H_z(p, y, z)}{\partial y} - \frac{\partial H_y(p, y, z)}{\partial z} = j_x(p, y, z) \\ \frac{\partial E_x(p, y, z)}{\partial z} = -p\mu_0 H_y(p, y, z) \\ \frac{\partial E_x(p, y, z)}{\partial y} = p\mu_0 H_z(p, y, z), \end{cases}$$

где p – параметр интегрального преобразования Лапласа.

Для интегрирования уравнений воспользовались двойным разложением Фурье по взаим-

но ортогональным пространственным переменным в выбранной системе координат.

Численные расчёты распределения напряжённости и электродинамических усилий

Для иллюстрации численных расчётов с помощью индукторной системы было проведено экспериментальное моделирование процессов возбуждения электромагнитных полей токами четырёх одновитковых соленоидов в полости прямоугольной трубчатой заготовки (рис. 2).

В режиме резкого поверхностного эффекта обработке подлежит полая протяжённая алюминиевая трубчатая заготовка толщиной $0,001\text{ м}$ с квадратной формой поперечного сечения: $0,02 \times 0,02\text{ м}$, $a = b = 0,02\text{ м}$ [3, 4].

Индукторы – одновитковые соленоиды прямоугольной формы – выполнены из проводников с квадратным поперечным сечением: $0,002 \times 0,002\text{ м}$, $d = 0,002\text{ м}$.

Для более полной иллюстрации процессов в системе расчёты в относительных единицах следует дополнить абсолютными значениями характеристик [4].

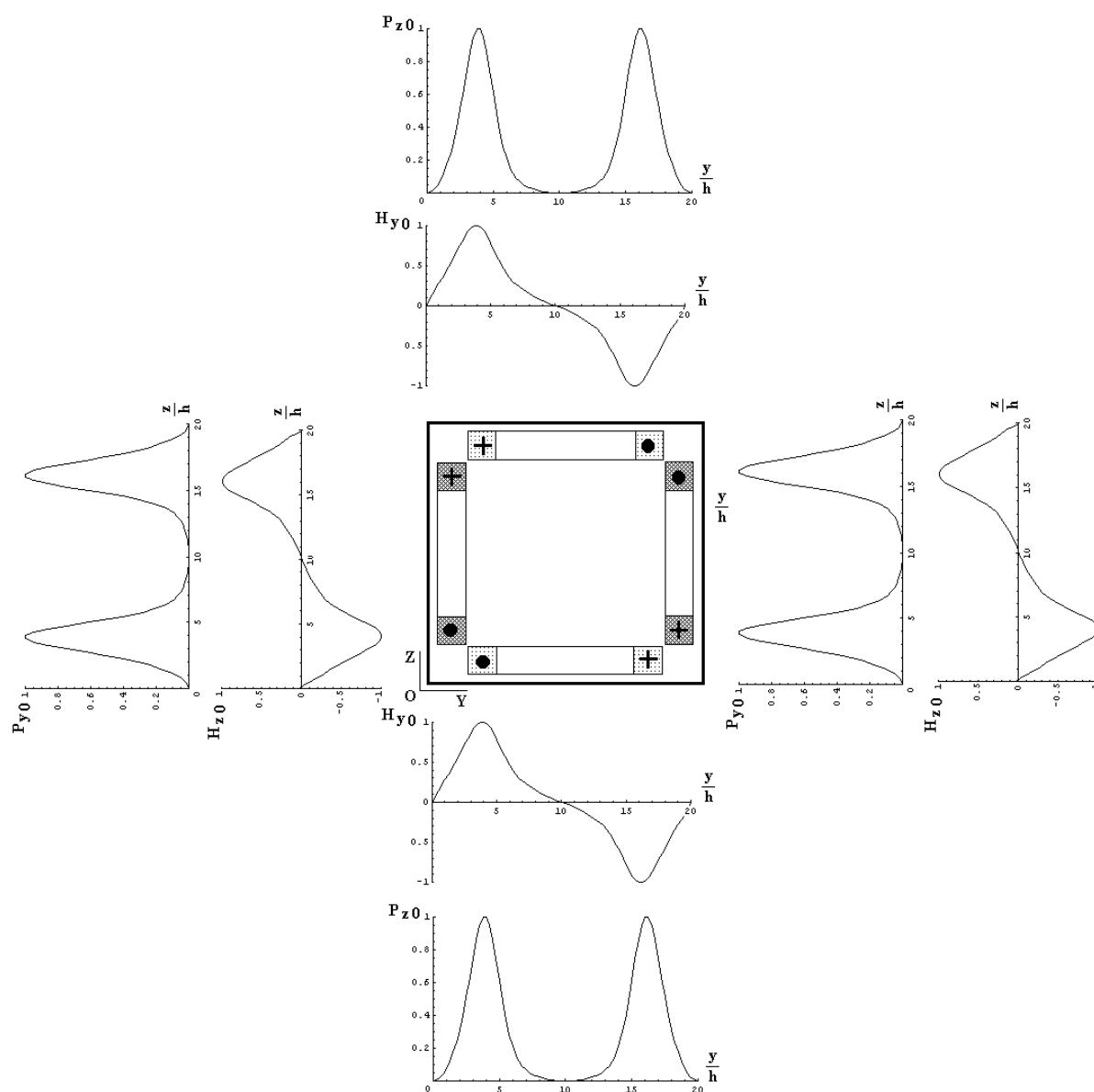


Рис. 2. Пространственные распределения касательных компонент напряжённости магнитного поля ($H_{y,z}^0$) и возбуждаемых сил давления ($P_{z,y}^0$) в относительных единицах

При амплитуде тока в индукторе $I_m = 100$ кА максимум напряжённости будет составлять

$$H_m \approx 1,96 \cdot 10^7 \frac{A}{m};$$

соответственно максимум развиваемого давления будет равен

$$P_m \approx 2,42 \cdot 10^8 \frac{H}{m^2}.$$

Выводы

Проведенные экспериментальные исследования и вычисления приводят к следующим выводам.

В индукторной системе с четырьмя взаимно ортогональными одновитковыми соленоидами, расположенными на внутренних поверхностях профиля полой трубчатой заготовки прямоугольной формы, в режиме резкого поверхностного эффекта возбуждаются интенсивные магнитные поля и мощные электродинамические усилия, величины которых вполне достаточны для практического деформирования обрабатываемой заготовки по углам профиля поперечного сечения [3].

Максимум напряжённости составляет

$$H_m \approx 1,96 \cdot 10^7 \frac{A}{m},$$

$$P_m \approx 2,42 \cdot 10^8 \frac{N}{m^2};$$

– максимумы пространственного распределения полей и давлений сосредоточены вблизи внутренних углов обрабатываемой заготовки, а концентрация возбуждаемых усилий на двух взаимно ортогональных плоскостях означает появление равнодействующей силы давления с амплитудой $\sqrt{2} \cdot P_m$, направленной к центру угла.

Повышение эффективности многовитковых индукторных систем возможно за счёт выбора формы поперечного сечения их витков в областях сочленения смежных токопроводов при наименьших диэлектрических зазорах между ними.

Литература

1. Туренко А.Н. Импульсные магнитные поля для прогрессивных технологий. – Том 3: Теория и эксперимент притяжения тонкостенных металлов импульсными магнитными полями: монография / А.Н. Туренко, Ю.В. Батыгин, А.В. Гнатов. – Х. : ХНАДУ, 2009. – 240 с.
2. Дашук П.Н. Техника больших импульсных токов и магнитных полей / П.Н. Дашук, С.Л. Зайенц, В.С. Комельков и др. ; под ред. В.С. Комелькова. – М.: Атомиздат, 1970. – 472 с.
3. Батыгин Ю.В. Возможности магнитно-импульсной технологии для рихтовки кузовных элементов автомобилей / Ю.В. Батыгин, В.И. Лавинский, Г.С. Сериков, Е.А. Чаплыгин // Физические и компьютерные технологии : труды 13-й междунар. науч.-техн. конф. 19–20 апреля 2007 г. – Х. : ХНПК «ФЭД», 2007. – С. 352–355.
4. Батыгин Ю.В. Диффузионные процессы при «раздаче» трубчатых заготовок в магнитно-импульсной обработке металлов / Ю.В. Батыгин, В.И. Лавинский, Т.Т. Черногор // Електротехніка і електромеханіка. – 2005. – №2. – С. 72–78.

Рецензент: О.Я. Никонов, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 13 декабря 2011 г.