

Ю. М. ОВЧИННИКОВ, Г. М. ЛЕБЕДЕВ, А. М. СКРЯБИН,
Г. З. ИСАРОВИЧ, Д. Н. ЛЫСЕНКО

О МЕТОДИКЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ПЛОСКИХ ИНДУКТОРОВ ПРИ ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКЕ

При проектировании процессов магнитно-импульсной обработки металлов давлением необходимо знать распределение давления магнитного поля по поверхности заготовки в процессе деформации. Зная величину давления магнитного поля, можно определить напряженно-деформированное состояние штампуемых деталей и другие технологические характеристики.

С целью выработки технических условий и рекомендаций по применению индукторов для штамповки производственных деталей необходимо исследовать влияние различных параметров индукторов и заготовок на топографию и величину воспроизводимого давления магнитного поля системы «индуктор—заготовка».

Давление магнитного поля на заготовку определяется по формуле [1]:

$$P = \frac{H^2}{8\pi} 10^{-6} \text{ [кг/см}^2\text{]}, \quad (1)$$

где H — напряженность магнитного поля в исследуемой точке.

Таким образом, определение давления магнитного поля индуктора сводится к определению напряженности магнитного поля. Для получения картины распределения давления, воспроизводимого индуктором, необходимо провести замеры напряженности в различных точках характерных сечений.

Существует несколько методов определения напряженности магнитного поля в систему «индуктор—заготовка». Наиболее приемлемыми являются метод определения напряженности на магнитно-импульсной установке и метод физического моделирования.

Первый метод отличается тем, что все работы по определению напряженности магнитного поля осуществляются непосредственно на установке МИОМ в процессе ее работы. Снятие полной картины поля индуктора занимает много времени, а сам процесс связан со значительными трудностями. Метод физического моделирования позволяет довольно быстро получить качественную картину распределения напряженности магнитного поля индуктора. Переход к абсолютной величине давления в этом методе прост.

Рассмотрим более подробно эти методы и сравним полученные результаты на примере исследования плоских одновитковых индукторов.

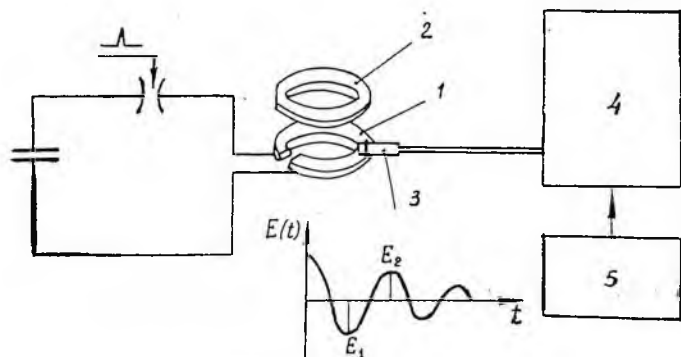


Рис. 1. Схема измерения напряженности магнитного поля непосредственно на установке и кривая изменения ЭДС в датчике

1 — индуктор; 2 — заготовка; 3 — датчик; 4 — осциллограф; 5 — звуковой генератор

По методу непосредственного определения напряженности магнитного поля в зазор между индуктором и заготовкой помещается датчик, представляющий собой катушку индуктивности, намотанную из тонкого медного провода диаметром 0,02 мм и имеющую 5—20 витков. Катушка наматывается на тонкий диэлектрический каркас сечением $5 \times 0,17$ мм. При прохождении через индуктор тока разряда в катушке датчика индуцируется электродвижущая сила, которая подается на вход усилителя осциллографа. Схема измерения напряженности магнитного поля по этому методу приведена на рис. 1. Максимальное значение напряженности магнитного поля в исследуемой точке определяется по формуле [2]

$$H_{\max} = \frac{10^8 E(k)(E_1 + E_2)}{n \cdot S \cdot \omega}, \quad (2)$$

где E_1 и E_2 — амплитуды двух полупериодов кривой изменения напряженности магнитного поля;
 n — число витков катушки датчика;

$$F(k) = \frac{k^2}{k+1} e^{-\left(\frac{\pi}{2} + \varphi\right)} \sin\left(\frac{\pi}{2} - \varphi\right),$$

$$k = \frac{E_1}{E_2} e^{\pi \operatorname{tg} \varphi},$$

где φ определяется как $\operatorname{tg} \varphi = \frac{R}{2\omega L}$;

ω — круговая частота разряда;

S — эффективная площадь катушки, пронизываемая магнитным потоком;

R, L — активное сопротивление и индуктивность цепи разряда.

Площадь катушки определяется по рис. 2:

$$S = S_1 + \frac{1}{2} S_2,$$

где S_1 — площадь поперечного сечения каркаса датчика;

S_2 — площадь поперечного сечения, занимаемая проводом датчика.

Калибровка осциллографа осуществляется путем подачи на его вход известного по величине сигнала. Определяются величины E_1, E_2, H_{\max} и давление, оказываемое на заготовку по формуле (1).

Метод моделирования процесса на физической модели предложен Московским энергетическим институтом. Схема модели показана на рис. 3. По этому методу система «индуктор—заготовка» записывается синусоидальным током от звукового генератора че-

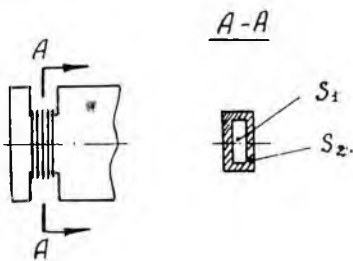


Рис. 2. Определение эффективной площади датчика

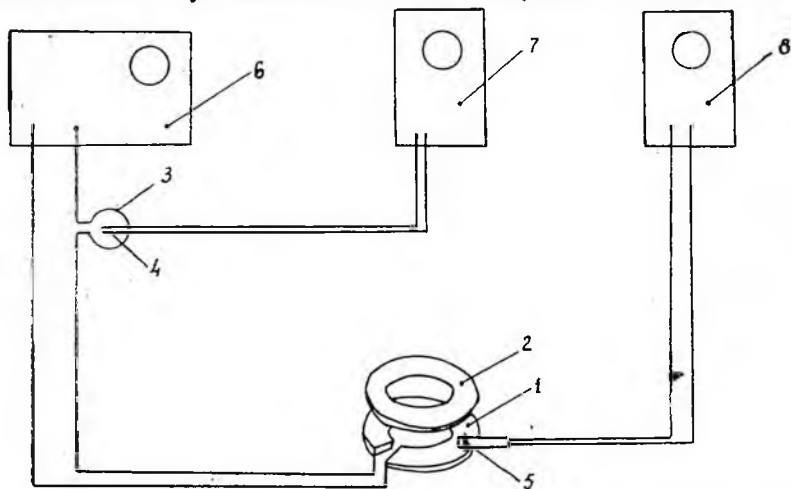


Рис. 3. Схема физического моделирования

1 — модуль индуктора; 2 — заготовка; 3 — эталонное кольцо; 4 — калибровочный датчик; 5 — измерительный датчик; 6 — звуковой генератор; 7 — контрольный осциллограф; 8 — измерительный осциллограф

рез согласующий трансформатор. В магнитное поле системы «индуктор—заготовка» вводится датчик, конструкция которого описана ранее. Наводимая в датчике э.д.с. регистрируется милливольтметром или осциллографом. Эталонное кольцо и датчик, введенный внутрь его, позволяет поддерживать постоянство тока во время эксперимента.

Распределение поля индуктора на модели строят в относительных единицах, относя значение сигнала замеренного в исследуемой точке H к расчетному H_0 [3].

Величина H_0 определяется по закону полного тока. Обходя датчиком контур индуктора, определяют площади, охватываемые кривыми напряженности по каждой стороне токопровода индуктора. По закону полного тока:

$$\oint H dl = i = S_{\varepsilon},$$

где i — ток индуктора;

S_{ε} — площадь эюры обхода токопровода индуктора.

Расчетная величина H_0 определяется как

$$H_0 = \frac{i}{a} = \frac{S_{\varepsilon}}{a},$$

где a — ширина токовой полосы индуктора.

Тогда относительная напряженность поля в какой-либо точке выражается:

$$\frac{H}{H_0} = \frac{a \cdot H}{S_{\varepsilon}}, \quad (3)$$

где H — сигнал, замеренный в исследуемой точке.

Величины H и H_0 выражаются в миллиметрах (если сигнал замеряется с помощью осциллографа) или в вольтах (если сигнал замеряется вольтметром).

При известном токе разряда $i(t)$ переход от отношения (3) к реальному значению напряженности производится по формуле:

$$H(t) = \frac{i(t)}{a} \left(\frac{H}{H_0} \right).$$

Переход к давлению производится по формуле

$$P = \frac{\mu_0 H^2}{2} = \frac{\mu_0}{2} \left[\frac{n \cdot i(t)}{a} \right]^2 \left(\frac{H}{H_0} \right)^2,$$

где n — число витков индуктора.

С использованием описанных методик были проведены эксперименты по определению давления магнитного поля ряда плоских индукторов, предназначенных для гибки-формовки прямолинейных и криволинейных бортов. В результате сравнения полученных величин давления были обнаружены расхождения, которые не превышали 10—20%. В качестве примера в табл. 1 приводятся результаты измерения давления магнитного поля одновиткового

Таблица 1

| | | | | | |
|-----------------------------------|-----------------------------|------|------|------|-------|
| Метод непосредственного измерения | H_{max} , эрсед | 8,87 | 10,4 | 7,43 | 3,94 |
| | P , кг/мм ² | 1,88 | 2,2 | 1,57 | 0,833 |
| Метод моделирования | $\frac{H}{H_0}$ | 0,55 | 0,65 | 0,46 | 0,246 |
| | P , кг/мм ² | 2,3 | 2,7 | 1,93 | 1,02 |

индуктора с внешним диаметром 150 мм в сечении I (рис. 1) при рабочем напряжении установки 4 кв, запасаемой энергии 10,2 кдж. величине разрядного тока $189 \cdot 10^3$ а.

Как показали исследования, определение давления магнитного поля на заготовку можно без ущерба для точности вести методом физического моделирования. К преимуществам этого метода относятся простота и надежность измерений, а также возможность замены реального индуктора его моделью, изготовленной из фольги.

ЛИТЕРАТУРА

1. П. Е. Тамм. Основы теории электричества, ГИТТЛ, 1954.
2. Piękara A. Malecki J, Akta Physik Polonica, 15, 381 1956 г.
3. Отчет МЭИ. Электромагнитные процессы и электротехнические устройства магнитно-импульсной обработки металлов, 1967.