

УДК 621.318

А. В. Гнатов, доцент, канд. техн. наук

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет,

ул. Петровского, 25, г. Харьков, Украина, 61024

kalifus@yandex.ru

ВНЕШНЯЯ БЕСКОНТАКТНАЯ РИХТОВКА КУЗОВНЫХ ПАНЕЛЕЙ АВТОМОБИЛЕЙ

В статье проведен анализ электродинамических процессов протекающих в тонкостенном листовом металле кузова автомобиля при магнитно-импульсной рихтовке. Показано, что рассмотренная конструкция инструмента позволяет развивать механические усилия, достаточные для практической реализации бесконтактной магнитно-импульсной рихтовки панелей автомобильных кузовов. Представлена практическая апробация новых авторских предложений по бесконтактной магнитно-импульсной рихтовке кузовных панелей автомобилей на примере дверной панели автомобиля Ауди.

Ключевые слова: бесконтактная рихтовка, магнитно-импульсная установка, удаление вмятин, индукторная система, силы притяжения, инструмент рихтовки.

Постановка проблемы. С каждым годом в мире огромными темпами растет количество автомобилей. Но, к сожалению, вместе с ростом количества автотранспортных средств, растет и количество ДТП с их участием, в которых, в той или иной степени, но обязательно повреждаются панели кузовных элементов автомобилей. Причем, как показывают статистические данные, до 80% повреждений приходится на небольшие и средние повреждения. Половина из них – это вмятины, не требующие замены всего элемента и устраняемые рихтовкой. Более 50% таких повреждений составляют зоны с затрудненным или полностью закрытым обратным доступом. В этой связи особый интерес представляют методы восстановления кузовов автомобилей, позволяющие произвести внешнюю рихтовку без разборки кузовных элементов и нарушения существующего лакокрасочного покрытия [1].

Анализ последних исследований и публикаций. Во всех известных научных публикациях как современных, так и прошлых лет, теоретические исследования и расчёты базируются на традиционных представлениях МИОМ о характере протекающих электромагнитных процессов [1-3]. В основе этих представлений лежат выводы, хорошо известные в электродинамике и полученные для массивных хорошо проводящих металлических объектов. Это представления о характере возбуждаемых вихревых токов, о возникающих силовых эффектах взаимодействия с ними внешних магнитных полей, то есть появлении, в конечном итоге, так называемых, пондеромоторных сил.

В этой связи необходимо подчеркнуть, что удачными практическими реализациями магнитно-импульсных технологий оказались лишь те, где в качестве обрабатываемых объектов выступали именно массивные хорошие проводники (режим резкого поверхностного эффекта) [2]. Этот факт только подтверждает сомнения в правомерности использования традиционных представлений об электромагнитных процессах, если речь идёт о магнитно-импульсных технологиях, когда имеет место существенная диффузия действующих полей [1, 3].

Цель статьи. 1. Анализ электродинамических процессов действующих на тонкостенный листовый металл кузова автомобиля в инструменте магнитно-импульсной рихтовки – индукционной индукторной системы с одновитковым цилиндрическим соленоидом. 2. Практическая апробация новых авторских предложений по бесконтактной магнитно-импульсной рихтовке кузовных панелей автомобилей.

Материалы и результаты исследования. Рассмотрим индукционную индукторную систему (ИИС) – универсальный инструмент магнитно-импульсной рихтовки [1], в котором экран и обрабатываемая листовая заготовка абсолютно идентичны (то есть их толщина одинакова и выполнены они из одного металла) и находятся на одинаковом расстоянии от индуктора – источника магнитного поля. ИИС симметрична, как с геометрической, так и электродинамической точек зрения. Индуцируемые вихревые токи должны быть равными.

Как следует из математической формулировки закона Ампера, они должны обеспечивать возбуждение наибольших сил электродинамического взаимодействия. Практическая работоспособность предлагаемой ИИС определяется собственно её геометрией, электрофизическими, геометрическими характеристиками экрана и заготовки, а также амплитудно-временными параметрами токового импульса в их взаимосвязи [1, 4].

Для анализа электромагнитных процессов примем расчётную модель в цилиндрической системе координат, показанную на рисунке 1. Для расчётной модели, представленной на рисунке 1 составляются уравнения Максвелла для возбуждаемых составляющих вектора электромагнитного поля ($E_{\varphi} \neq 0$, $H_{r,z} \neq 0$). Решая составленные уравнения известными математическими методами [1, 2, 4, 5], во избежание громоздкости в изложении, опустим промежуточные выкладки, и запишем окончательное выражение для искомых величин возбуждаемых сил.

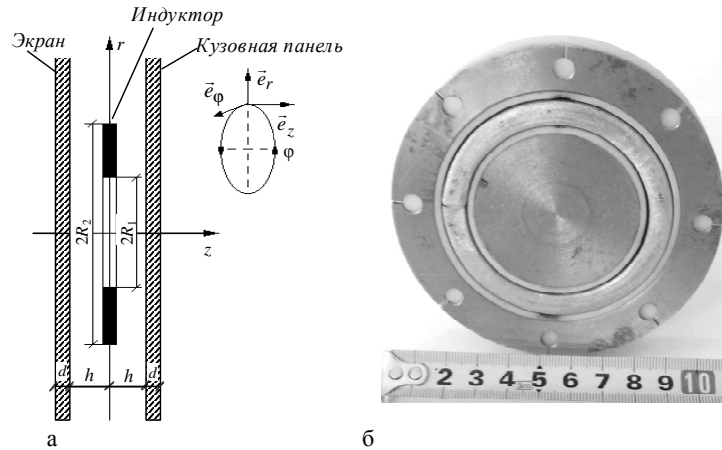


Рисунок 1 – Симметричная ИИС: а – расчетная модель; б – физическая модель

Силы притяжения листовых металлов с индуцированными токами в соответствии с законом Ампера описываются зависимостью [1, 4, 5]:

$$F_A(\varphi, r) = F_{Am}(\varphi) \cdot \left(\int_0^{\infty} \Phi_3(x) \cdot J_1\left(x \frac{r}{d}\right) \cdot dx \right)^2, \quad (1)$$

$$\text{где } P_{Am}(\varphi) = \frac{\mu_0}{2} \cdot \frac{r}{h} \left(j_m \cdot \frac{dj(\varphi)}{d\varphi} \cdot \frac{(\omega \cdot \tau)}{2} \right)^2, \quad \Phi_3(x) = \frac{F(x) \cdot \left((1 - \text{ch}(x)) - \frac{1}{\mu_r} \cdot \text{sh}(x) \right)}{x^3 \left(\text{sh}(x) \cdot \left[\text{sh}\left(x \cdot \frac{h}{d}\right) + \frac{1}{\mu_r^2} \text{ch}\left(x \cdot \frac{h}{d}\right) \right] + \frac{1}{\mu_r} \cdot e^{x \frac{h}{d}} \cdot \text{ch}(x) \right)}.$$

Сила притяжения, обусловленная магнитными свойствами металла заготовки, описывается зависимостью [5]:

$$F_M(\varphi, r) = -F_{Mm}(\varphi) \cdot (\mu_r [Y_1(r) - Y_2(r)] + [Y_3(r) - Y_4(r)]), \quad (2)$$

$$\text{где } F_{Mm}(\varphi) = \frac{\mu_0}{2} \cdot \left(1 - \frac{1}{\mu_r}\right) \cdot j_m^2 \cdot j^2(\varphi), \quad Y_1(r) = \left(\int_0^{\infty} \frac{F(x) \left(\text{sh}(x) + \frac{1}{\mu_r} \text{ch}(x) \right) J_0\left(x \frac{r}{d}\right)}{x \left(\text{sh}(x) \cdot A + \frac{1}{\mu_r} e^{x \frac{h}{d}} \text{ch}(x) \right)} dx \right)^2,$$

$$A = \left[\text{sh}\left(x \cdot \frac{h}{d}\right) + \frac{1}{\mu_r^2} \text{ch}\left(x \cdot \frac{h}{d}\right) \right]; \quad Y_2(r) = \left(\frac{1}{\mu_r} \int_0^{\infty} \frac{F(x) \cdot J_0\left(x \frac{r}{d}\right)}{x \left(\text{sh}(x) \cdot A + \frac{1}{\mu_r} e^{x \frac{h}{d}} \text{ch}(x) \right)} dx \right)^2,$$

$$Y_3(r) = \left(\int_0^{\infty} \frac{F(x) \left(\text{ch}(x) + \frac{1}{\mu_r} \text{sh}(x) \right) J_1\left(x \frac{r}{d}\right)}{x \left(\text{sh}(x) \cdot A + \frac{1}{\mu_r} e^{x \frac{h}{d}} \text{ch}(x) \right)} dx \right)^2; \quad Y_4(r) = \left(\int_0^{\infty} \frac{F(x) \cdot J_1\left(x \frac{r}{d}\right)}{x \left(\text{sh}(x) \cdot A + \frac{1}{\mu_r} e^{x \frac{h}{d}} \text{ch}(x) \right)} dx \right)^2.$$

Проведем численные оценки возбуждаемых усилий для реальных условий: $R_1 = 0,03$ м, $R_2 = 0,035$ м, $h = 0,001$ м, $f = 1150$ Гц, $\delta = 0,2$, $J_m = 50$ кА, $d = 0,00075$ м, $\gamma = 0,4 \cdot 10^7$ 1/(Ом·м). Графические зависимости проведенных численных оценок представлены на рисунке 2.

Технические характеристики магнитно-импульсной установки МИУС-2: запасаемая энергия $W=2$ кДж; напряжение питающей сети $\sim 380/220$ В; ёмкость конденсаторов $C = 1200$ мкФ; собственная частота $f_0 = 7$ кГц; собственная индуктивность $L = 440\div 500$ нГн; напряжение заряда емкостных накопителей $U_z = 100\div 2100$ В; частота следования разрядных импульсов $f_{имп} = 1 \div 10$ Гц; тип коммутаторов – тиристорные ключи; разрядный импульс – униполярный сигнал.

Условия эксперимента: частота следования разрядных импульсов – 9 Гц; силовое воздействие – 1 серия из 10 импульсов; частота тока в разрядном импульсе – 2 кГц; напряжение на емкостном накопителе источника мощности – 1800 В; амплитуда тока в инструменте магнитно-импульсной рихтовки – 90 кА; запасаемая источником мощности энергия – 1,8 кДж.

Выводы. Проведен анализ электродинамических процессов действующих на тонкостенный листовой металл кузова автомобиля в инструменте магнитно-импульсной рихтовки – индукционной индукторной системе с одновитковым цилиндрическим соленоидом.

Показано, что рассмотренная конструкция универсального инструмента позволяет развивать механические усилия, достаточные для практической реализации бесконтактной магнитно-импульсной рихтовки панелей автомобильных кузовов. Так, оценка усредненных силовых показателей показала, что среднее значение суммарной силы притяжения за время её действия может составить $110\cdot 10^5$ Н/м².

Проведена практическая апробация новых авторских предложений по бесконтактной магнитно-импульсной рихтовке кузовных панелей автомобилей на примере дверной панели автомобиля Ауди. Представлены фотоиллюстрации процесса рихтовки.

Библиографический список использованной литературы

1. Туренко А. Н. Импульсные магнитные поля для прогрессивных технологий. Том 3. Теория и эксперимент притяжения тонкостенных металлов импульсными магнитными полями / А.Н. Туренко, Ю.В. Батыгин, А.В. Гнатов. – Харьков: ХНАДУ, 2009. – 240 с.

2. Белый И.В. Справочник по магнитно-импульсной обработке металлов / И. В. Белый, С.М. Фертик, Л. Т. Хименко. – Х.: Вища школа, 1977. – 189 с.

3. Особенности магнитно-импульсной обработки металлов в технологиях современности / Ю. В. Батыгин, А. В. Гнатов, А. А. Степанов [и др.] // Электротехника і електромеханіка.– 2011. – №1. – С.72–75.

4. Гнатов А.В. Моделирование электродинамических процессов в симметричной индукционной индукторной системе / А.В. Гнатов // Матеріали Міжнар. науково-практичної Інтернет-конференції "Математичне моделювання прикладних задач математики, фізики, механіки". – Х. : Екограф, 2013. – С. 232 – 234.

5. Гнатов А.В. Анализ электродинамических процессов в цилиндрических индукторных системах – инструментах магнитно-импульсной рихтовки : монографія / А.В. Гнатов. – Х.: ХНАДУ, 2013 – 292 с.

6. Лаборатория электромагнитных технологий [Электронный ресурс] – 2013. – Режим доступа: <http://electromagnetic.comoj.com>.

Поступила в редакцию 25.04.2013 г.

Гнатов А. В. Зовнішнє безконтактне рихтування кузовних панелей автомобілів

У статті проведено аналіз електродинамічних процесів, що протікають у тонкостінному листовому металі кузова автомобіля при магнітно-імпульсному рихтуванні. Показано, що розглянута конструкція інструменту дозволяє розвивати механічні зусилля, достатні для практичної реалізації безконтактного магнітно-імпульсного рихтування панелей автомобільних кузовів. Представлено практичну апробацію нових авторських пропозицій щодо безконтактного магнітно-імпульсного рихтування кузовних панелей автомобілів на прикладі дверної панелі автомобіля Ауді.

Ключові слова: безконтактне рихтування, магнітно-імпульсна установка, видалення вм'ятин, індукторна система, сили притягання, інструмент рихтування.

Hnatov A.V. External non-contact straightening of car body panels of automobiles.

The analysis of electrodynamic processes flowing in thin-walled car body sheet metal by magnetic-pulse straightening has been carried out in the article. It is shown that the considered tool construction allows to develop the mechanical forces that are sufficient for the practical realization of non-contact magnetic pulse straightening of car body panels. The practical approval of new author's proposals of non-contact magnetic-pulse straightening of car body panels presented with example of door panel of Audi automobile.

Keywords: non-contact straightening, magnetic-pulse installation, removal of dents, induction system, attracting force, straightening tool.