

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ АПРОБАЦИЯ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С ПРЯМЫМ ПРОПУСКАНИЕМ ТОКА ДЛЯ ВНЕШНЕЙ РИХТОВКИ АВТОМОБИЛЬНЫХ КУЗОВОВ

*У статті представлені результати експериментальних досліджень електродинамічної системи з прямим пропусканням струму для зовнішньої рихтування автомобільних кузовів. Показано можливість визначення напрямку підвищення дієвості сил, що розвиваються, магнітно-імпульсного притягання. Продемонстрована працездатність запропонованого інструменту зовнішньої магнітно-імпульсної рихтування.*

*В статье представлены результаты экспериментальных исследований электродинамической системы с прямым пропусканьем тока для внешней рихтовки автомобильных кузовов. Показана возможность определения направления повышения действенности развиваемых сил магнитно-импульсного притяжения. Продемонстрирована работоспособность предложенного инструмента внешней магнитно-импульсной рихтовки.*

### ВВЕДЕНИЕ

Как показала практика, традиционная рихтовка с внутренней стороны металлического покрытия автомобильных кузовов зачастую невозможна по целому ряду причин [1].

В ряде случаев, когда требование сохранения защитного покрытия не является определяющим и допускается контакт с объектом обработки, можно использовать инструменты внешней рихтовки, представляющие собой электродинамические системы с "прямым пропусканьем тока" через металл устраняемой вмятины. Отдельные предложения такого рода были описаны в работах [2].

**Целью настоящей работы** является освещение экспериментальных исследований одного из вариантов конструктивного исполнения инструмента силового магнитно-импульсного воздействия (индукторной системы), предназначенного для устранения повреждений в элементах автомобильных кузовов, корпусах из листовых металлов и др.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Модельный вариант инструмента внешней рихтовки вмятин в автомобильных кузовах – электродинамической системы "с прямым пропусканьем тока" был апробирован при подключении к источнику мощности – магнитно-импульсной установке МИУ-20 через импульсный трансформатор, обеспечивающий в максимуме коэффициент трансформации по току 1:8. Данный источник мощности работает в импульсном режиме. Форма токового импульса, стандартная для магнитно-импульсной обработки металлов (МИОМ) [4], представляет собой экспоненциально затухающую синусоиду (рабочая частота ~5 кГц, снижение амплитуды до нуля, практически, за 1.5÷2 периода сигнала).

Схематическое изображение апробированной экспериментальной конструкции инструмента показано на рис. 1.

Токоподводы для подключения к магнитно-импульсной установке были изготовлены из медной шины толщиной – 3мм, основной токопровод – стальная пластина толщиной – 5 мм и шириной в рабочей зоне составляла – 50 мм. Электрический контакт между листовой заготовкой и основным токопроводом – индуктором в рабочей зоне осуществлялся с помощью фиксирующих болтов.

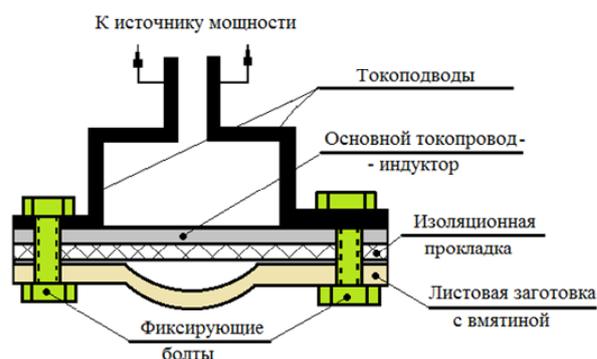


Рис. 1. Схематическое изображение экспериментальной электродинамической системы – инструмента внешней магнитно-импульсной рихтовки

### ИЗМЕРЕНИЕ НЕОБХОДИМЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ УСИЛИЙ

Предварительные измерения сил давления, необходимых для деформирования образца металлической обшивки автомобильного кузова ("Renault", толщина ~0.8 мм) проводились по схеме, описанной авторами работы [5].

Измерения показали, что выдавливание вмятин с поперечным диаметром – 25 мм до глубины 1 мм, 2 мм и 3 мм происходит при амплитудах усилий 1000 Н, 1700 Н и 2700 Н, соответственно.

Обобщение полученных данных показывает, что для успешного деформирования экспериментальных образцов металлического покрытия автомобильных кузовов в достаточно широком, но реальном, диапазоне результатов и амплитуд силового воздействия, предложенный инструмент должен развивать усилия порядка  $\sim F \geq 3000$  Н.

### ИЗМЕРЕНИЕ ТОКОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ

Измерительный комплекс.

- Измерения проводились с помощью пояса Роговского, представляющего собой катушку индуктивности, охватывающую проводник с измеряемым током (листовая заготовка с вмятиной).

- Основная характеристика пояса – его, так называемая, постоянная (позволяет пересчитывать э.д.с., индуцируемую в витках пояса, в реальный ток, протекающий по проводнику) –  $G = 13$  кА/В[4].

- Пояс Роговского через интегрирующую цепочку (интегратор) подключается к импульсному осциллографу. Схема измерения показана на рис. 2.

- По осциллограммам на экране осциллографа измерялась э.д.с. в цепи пояса, после чего с помощью постоянной –  $G$  определялся ток в металле листовой заготовки.

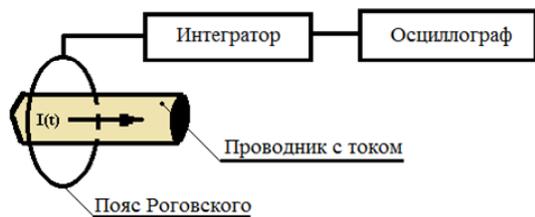


Рис. 2. Схема измерения

Результаты измерений, обсуждение, вывод.

- Измерения проводились в рабочем режиме магнитно-импульсной установки с минимальным рабочим напряжением на емкостном накопителе –  $U = 5.5$  кВ.

- Типичная осциллограмма токового импульса в разряде приведена на рис. 3.

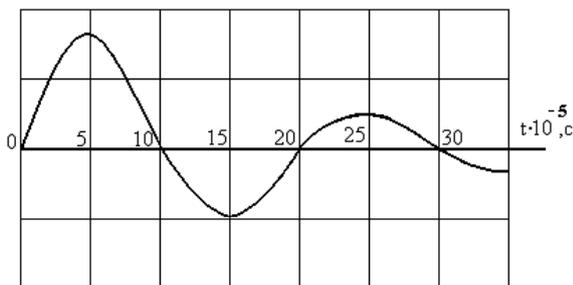


Рис. 3. Типичная осциллограмма импульса тока в проводящих элементах инструмента рихтовки

- Параметры токовых импульсов измерялись в элементах системы согласно рис. 1:  $I_g$  – суммарный ток в токопроводе к индукторной системе и  $I_m$  – ток в основном токопроводе.

- Распределение тока, протекающего в металле листового металла с вмятиной, определялось согласно рис. 4 по участкам:  $I_1, I_2, I_3$  соответственно.

- Результаты измерений:  $I_g = 169$  кА;  $I_m = 133$  кА;  $I_1 = 32,5$  кА;  $I_2 = 14,3$  кА;  $I_3 = 7,8$  кА.

- Суммарный ток в токопроводе  $-I_g = I_m + I_1 = 165,5$  кА  $\approx 169$  кА (разница в значениях определяется погрешностью измерений).

- Суммарный ток в заготовке  $-I_1 = 2I_2 + I_3 = 29,9$  кА  $\approx 32,5$  кА (разница в значениях определяется погрешностью измерений).

- Предыдущие два пункта характеризуют уровень достоверности результатов измерений, то есть, относительную погрешность, которая, как показывают оценки, не превышала  $\sim 8\%$ .

- Суммарный ток в заготовке по отношению к суммарному току в токопроводе будет равен:

$$I_1/I_g = 32,5/169 \approx 19,2 \%$$

- Отношение токов в заготовке и в основном токопроводе составляет:

$$I_1/I_m = 32,5/133 \approx 24,4 \%$$

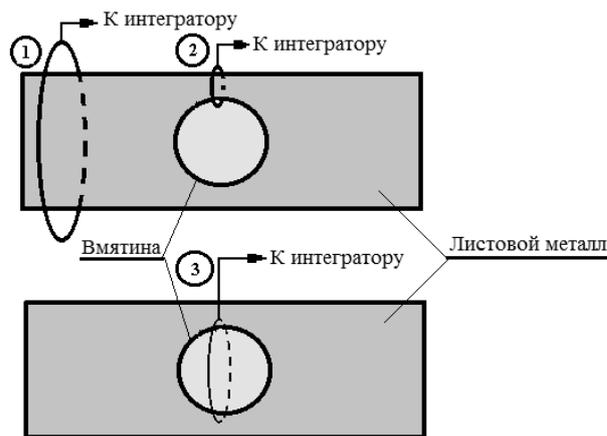


Рис. 4. Схема измерения токораспределения в листовом металле с вмятиной

Данный результат показывает, что эквивалентное сопротивление заготовки приблизительно в 4 раза больше сопротивления основного токопровода, следовательно, если для уравнивания токов в основном токопроводе и заготовке включить их последовательно, то суммарное сопротивление индукторной системы возрастёт минимум в 5 раз, что приведёт к уменьшению суммарного тока в токопроводе соответственно в 5 раз.

- Отношение токов во вмятине и в заготовке –  $I_3/I_1 = 7,8/32,5 \approx 24 \%$ .

Этот результат показывает, что основная часть тока, протекающего в заготовке сосредоточена вне вмятины, что объясняется влиянием известного "эффекта близости", обусловленного достаточно большими поперечными размерами основного токопровода.

- Отношение токов во вмятине и основном токопроводе равно:

$$I_3/I_m = 7,8/133 \approx 5,8 \%$$

Этот показатель характеризует эффективность преобразования энергии в исследованной индукторной системе (его величина согласуется с аналогами для традиционной МИОМ!).

- Проведенные измерения проиллюстрировали электродинамические процессы. Полученные результаты освещают возможные направления по повышению эффективности магнитно-импульсного подхода к реализации заданной производственной операции. В частности, уменьшение ширины основного токопровода до размера, существенно меньшего внешнего диаметра вмятины.

#### СИЛОВАЯ АПРОБАЦИЯ ИНСТРУМЕНТА

Практической апробации подвергалась конструкция с основным токопроводом – плоским проводником, у которого ширина рабочей зоны (центральная часть), согласно выводам по результатам измерений электродинамических показателей, была уменьшена до  $\sim 5$  мм. Диапазон рабочих напряжений на емкостном накопителе составлял:  $\sim 5,5 \div 7,5$  кВ.

Силовому воздействию подвергалась вмятина с глубиной по центру  $\sim 3$  мм и внешним диаметром 25 мм в стальном листе толщиной  $\sim 0,8$  мм (образец металлического покрытия а/м "Renault").

Проведенные эксперименты показали принципиальную практическую действенность магнитно-импульсного притяжения. После 5-кратного повторения силового воздействия диаметр вмятины уменьшился до 18 мм, глубина по центру – до  $\sim 1.5 \pm 2$  мм.

Следует отметить, что в центральной части вмятины отмечен достаточно заметный нагрев по сравнению с периферийными областями. Распределение Ленц-Джоулевого тепловыделения свидетельствует о концентрации тока, именно, в зоне рихтованной вмятины.

### ВЫВОДЫ

1. Для внешней рихтовки вмятин в металлических покрытиях автомобильных кузовов в качестве инструмента предложена и экспериментально апробирована электродинамическая система, принцип действия которой основан на силовом взаимодействии однопольных больших токов.

2. Проведенные измерения электродинамических характеристик позволили указать направление повышения действенности развиваемых сил магнитно-импульсного притяжения.

3. Исследованная экспериментальная модель с прямым пропусканием тока, реально продемонстрировала принципиальную работоспособность предложенного инструмента внешней магнитно-импульсной рихтовки.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бажинов А.В., Батыгин Ю.В., Чаплыгин Е.А. Использование энергии импульсных магнитных полей в автомобильной промышленности // Сб. научных трудов Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. – Харьков. – 2005. – №16. – С. 349-353.
2. Батыгин Ю.В., Лавинский В.И., Хищенко Л.Т. Физические основы возможных направлений развития магнитно-импульсной обработки тонкостенных металлов // Электротехника і електромеханіка. – 2004. – №2. – С. 80-84.
3. Батыгин Ю.В., Лавинский В.И., Хищенко Л.Т. Импульсные магнитные поля для прогрессивных технологий. Т.1. Импульсные магнитные поля для прогрессивных технологий. Издание второе, перераб. и доп. Под общ. ред. д.т.н., проф. Батыгина Ю.В. – Харьков: изд-во МОСТ-Торнадо, 2003. – 284 с.
4. Хавин В.Л., Чаплыгин Е.А., Шиндерук С.А. Экспериментальное исследование механических процессов при образовании и удалении лунок в стальных пластинах, имитирующих кузовное покрытие автомобиля // Автомобиль і електроніка. Сучасні технології. – Харьков: ХНАДУ, 2013. – №4. – С. 129-134.

**REFERENCES:** 1. Bazhinov A.V., Batygin Yu.V., Chaplygin E.A. Ispol'zovanie energii impul'snykh magnitnykh polei v avtomobil'noi promyshlennosti [Using the energy of pulsed magnetic fields in the automotive industry]. *Sbornik nauchnykh trudov Khar'kovskogo natsional'nogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta* [Collection of scientific works of Kharkov National Automobile and Highway University], 2005, vol.16, pp. 349-353. 2. Batygin Yu.V., Lavinsky V.I., Khimchenko L.T. The physical bases of the magnetic fields energy technological applications for the thin-walled metal working. *Elektrotehnika i elektromekhanika – Electrical engineering & electromechanics*, 2004, no.2, pp. 80-84. 3. Batygin Yu.V., Lavinsky V.I., Khimchenko L.T. *Impul'snye magnitnye polia dlia progressivnykh tekhnologii. Tom 1. Impul'snye magnitnye polia dlia progressivnykh tekhnologii* [Pulsed magnetic fields for advanced technologies. Vol.1. Pulsed magnetic fields for advanced technologies]. Kharkiv, MOST-Tornado Publ., 2003. 284 p. 4. Havin V.L., Chaplygin E.A., Shinderuk S.A. Eksperimental'noe issledovanie mekhanicheskikh protsessov pri obrazovanii i udalenii lunok v stal'nykh plastinakh, imitiruiushchikh kuzovnoe pokrytie avtomobilia [Experimental researches of mechanical processes formation and removal of hole in a steel sheet simulates the car body]. *Avtomobil i elektronika. Sovremennye tekhnologii. – Vehicle and Electronics. Innovative Technologies*, 2013, no.4, pp. 129-134. Available at: <http://www.khadi.kharkov.ua/index.php?id=2118> (Accessed 27 March 2014).

*Поступила (received) 27.03.2014*

*Бондаренко Александр Юрьевич<sup>1</sup>, к.т.н., доц.,  
Финкельштейн Владимир Борисович<sup>2</sup>, д.т.н., проф.,  
Степанов Александр Александрович<sup>3</sup>, к.ф.-м.н., доц.,*

<sup>1</sup> Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", 61002, Харьков, ул. Фрунзе, 21, тел./phone +38 057 7076052, e-mail: kafedraIEF@gmail.com,

<sup>2</sup> Харьковский национальный университет городского хозяйства им. А.Н. Бекетова, 61002, Харьков, ул. Маршала Бажанова, 17, тел./phone +38 057 7073316, e-mail: barbashova1987@gmail.com,

<sup>3</sup> Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, 61002, Харьков, ул. Петровского, 25, тел./phone +38 057 7073727, e-mail: aas\_1945@mail.ru

*A.Yu. Bondarenko<sup>1</sup>, V.B. Finkelshtein<sup>2</sup>, A.A. Stepanov<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute" 21, Frunze Str., Kharkiv, 61002, Ukraine

<sup>2</sup> O.M. Beketov Kharkiv National University of Municipal Economy 17, Marshala Bazhanova Str., Kharkiv, 61002, Ukraine

<sup>3</sup> Kharkiv National Automobile and Highway University 25, Petrovskogo Str., Kharkiv, 61002, Ukraine

### **Experimental approbation of an electrodynamic direct electric system for external automobile body repair.**

The article presents results of experimental research on an electrodynamic system with direct current flow for external automobile body repair. A possibility of specifying the direction of increasing magnetic pulse attraction force action efficiency is shown. Operability of the external magnetic pulse flattening tool introduced is shown.

**Key words – external automobile body repair straightening, direct current flow, magnetic pulse attraction.**