

DOI: 10.20535/1810-0546.2018.5.115038

УДК 621.318

Є.О. Чаплигін, С.О. Шиндерук\*, Є.О. Третинников

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків, Україна

## АПРОБАЦІЯ ЦИЛІНДРИЧНОЇ ІНДУКТОРНОЇ СИСТЕМИ З ЕКРАНОМ, ЩО ПРИТЯГАЄ, ДЛЯ ВИДАЛЕННЯ ВМ'ЯТИН У ЛИСТОВИХ МЕТАЛАХ

**Проблематика.** Зовнішнє безконтактне вирівнювання деформованих ділянок поверхні автомобільних кузовів, яке не потребує, на відміну від відомих аналогів, розбирання на елементи з метою безпосереднього доступу з внутрішньої сторони вм'ятини, що видаляється, є нагальною затребуваною операцією на багатьох станціях технічного обслуговування. Для цієї операції в її класичному розумінні (механічним способом) характерні такі недоліки: низька швидкість виконання операції вирівнювання, її висока собівартість та, як правило, неможливість збереження лакофарбового покриття. Запропонована методика дає змогу позбутися перерахованих вище недоліків при виконанні операції рихтування.

**Мета дослідження.** Практична апробація інструмента магнітно-імпульсної обробки металів – циліндричної індукторної системи з екраном, що притягає, на прикладі зовнішнього безконтактного вирівнювання деформованих ділянок поверхонь кузовів автомобілів.

**Методика реалізації.** Використання технологій магнітно-імпульсної обробки металів (МІОМ) в операціях зовнішнього видалення вм'ятин на поверхні автомобільних кузовів, а саме на дверях автомобіля, за допомогою індукторної системи з екраном, що притягає, – інструмента МІОМ.

**Результати дослідження.** Успішно апробовано спосіб зовнішнього безконтактного вирівнювання деформованих ділянок поверхні автомобільних кузовів. Практично реалізовано керований (дозований) силовий магнітно-імпульсний вплив, що дає змогу здійснювати контрольоване деформування листового металу в зоні обробки при видаленні вм'ятин циліндричною індукторною системою з екраном, що притягає.

**Висновки.** Експериментально продемонстровано практичні можливості видалення вм'ятин на поверхні дверей автомобіля індукторною системою з екраном, що притягає, – ефективним інструментом магнітно-імпульсної обробки листових металів. Продемонстровано на практиці переваги зовнішнього безконтактного рихтування з використанням технологій МІОМ, яке не потребує, на відміну від відомих аналогів, розбирання на елементи з метою обов'язкового доступу з внутрішньої сторони вм'ятини, що вирівнюється, і це значно економить витрати часу на операцію і дає можливість зберегти лакофарбове покриття.

**Ключові слова:** магнітно-імпульсна обробка; індукторна система; вм'ятина; багатовитковий соленоїд.

### Вступ

Інтерес до конструктивного виконання джерела поля у вигляді протяжного циліндричного соленоїда обумовлений практикою створення ефективних інструментів магнітно-імпульсного притягання.

Проведено аналіз електродинамічних процесів у індукторній системі з екраном, що притягає, конструкція якої представлена циліндричним багатовитковим соленоїдом, на торці якого розміщені тонкостінні листові метали з різними геометричними та електрофізичними характеристиками. Один із них – заготовка, що підлягає деформації, другий – екран, що притягає.

Безумовно, раніше розглянутий варіант збудження системи плоским круговим соленоїдом [1, 2] забезпечує максимум електромагнітного зв'язку між його обмоткою і листовими

металами. Істотним недоліком такої конструкції джерела поля є протяжність робочої зони і, відповідно, неможливість концентрації силового впливу на малих ділянках поверхні об'єктів обробки.

У конструкції інструмента магнітно-імпульсного притягання, де поле збуджується протяжним циліндричним соленоїдом, має місце більш низький рівень електромагнітного зв'язку між його обмоткою і листовими металами. Але цей недолік компенсується тим, що при досить малому діаметрі соленоїда стає можливим сконцентрувати сили притягання на невеликих площах заготовки, що оброблюється.

Апріорі очевидно, що ефективність індукторної системи із зовнішнім розміщенням джерела поля відносно робочої зони визначається не тільки конструктивним виконанням соленоїда, що збуджується, але й співвідношенням товщини та провідності екрана і заготовки.

\* corresponding author: [s.shinderuk.2016102@ukr.net](mailto:s.shinderuk.2016102@ukr.net)

### Постановка задачі

Мета цього розгляду – визначення ефективності роботи та практична апробація інструмента магнітно-імпульсної обробки металів – циліндричної індукторної системи з екраном, що притягає, на прикладі зовнішнього безконтактного вирівнювання деформованих ділянок поверхонь автомобілів.

### Рихтування елемента автомобільного кузова за допомогою експериментальної індукторної системи з екраном, що притягає

Експериментальна апробація індукторної системи з екраном, що притягає, здійснювалася при виконанні реальної виробничої операції з видалення вм'ятини на поверхні автомобільної двері.

Експериментальне обладнання для виконання заданої виробничої операції включало дві основні складові:

- інструмент магнітно-імпульсного рихтування – експериментальна індукторна система з екраном, що притягає;

- джерело потужності – енергетичний блок (магнітно-імпульсна установка).

**Інструмент магнітно-імпульсного рихтування.** Інструмент рихтування – експериментальну індукторну систему з екраном, що притягає, – розраховано в [3]. Її реальне втілення показано на рис. 1.



Рис. 1. Експериментальна конструкція індукторної системи з екраном, що притягає

Основними розрахунковими характеристиками цієї конструкції інструмента для виконання рихтування є такі показники:

- індуктивність обмотки:  $\sim 27,17$  мкГн;
- робоча частота полів, що діють при ємності накопичувача  $C = 1200$  мкФ:  $\sim 882$  Гц;
- можливий максимум розрядного струму при робочій напрузі  $\sim 2000$  В:  $\sim 13,3$  кА;

- межі робочої зони визначаються значеннями розподілених сил, рівних їх середнім величинам у зоні під обмоткою індуктора (для запропонованої конструкції середнє значення розподілених сил становить  $1,2$  МПа);

- у межах виділеної робочої зони:

- а) при амплітуді струму  $\sim 10$  кА середнє значення розподіленої сили притягання становить  $\sim 2,0$  МПа, власне сила притягання має становити  $\sim 32000$  Н;

- б) при максимумі струму  $\sim 13,3$  кА максимум розподіленої сили притягання зростає до  $\sim 3,4$  МПа, власне сила притягання має становити  $\sim 52200$  Н.

Джерело потужності – магнітно-імпульсна установка МІУС-2, розроблена в лабораторії електромагнітних технологій Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. Загальний вигляд установки з інструментом та опис основних характеристик наведено в [4–7].

Слід зазначити, що МІУС-2 як джерело потужності безперервно удосконалюється. Зокрема, здійснений перехід до аперіодичного режиму розряду, що дає змогу істотно підвищити строк служби ємнісних накопичувачів [7].

#### *Джерело потужності – енергетичний блок.*

Магнітно-імпульсна установка МІУС-2 являє собою силовий блок, який можна розглядати як складову будь-якої магнітно-імпульсної системи для виконання різних виробничих операцій, зокрема для рихтування, правки, зчленування металевих елементів транспортних засобів, а також для складальних і формувальних операцій.

Умови роботи МІУС-2, що була використана при проведенні реальних експериментів, встановлені відповідними нормативними документами для пристроїв аналогічного типу і призначення:

- зміна температури: від  $+5$  до  $+35$  °С;
- відносна вологість: не більше 80 %;
- навколишнє середовище: вибухобезпечне, не містить агресивних парів і газів у концентраціях, що руйнують метали й ізоляцію, а також струмопровідного пилу і кислот;

- МІУС-2 встановлюється в місцях, захищених від попадання води, масла, емульсії, лугів і кислот;

– МІУС-2 встановлюється в місцях, не схильних до тряски та ударів.

Джерело електромагнітної потужності МІУС-2 та індукторна система (електричне навантаження розрядного контуру) – інструмент для виконання заданої виробничої операції, є складовими всього магнітно-імпульсного комплексу.

Конструктивно МІУС-2 оформлена у вигляді єдиного блоку, в якому сконцентровано все електрообладнання, а також повітряну систему охолодження комутаторів і зарядного пристрою.

На верхній площині корпусу встановлена горизонтальна масивна діелектрична плита, яка може використовуватись як технологічний стіл. На його поверхню виведені струмознімачі (електричні клеми) для підключення навантаження. Як було раніше зазначено, такою є індукторна система з екраном, що притягає, – інструмент для виконання заданої виробничої операції.

Магнітно-імпульсна установка МІУС-2 має такі технічні характеристики:

- максимум енергії, що запасється:  $W \approx 2,4$  кДж;
- ємність накопичувача:  $C = 1200$  мкФ;
- власна частота:  $f_0 \approx 7$  кГц;
- власна індуктивність:  $L \approx 440$  нГн;
- напруга ємнісного накопичувача в діапазоні  $\sim 100$ – $2000$  В;
- частота проходження імпульсів струму, що генеруються:  $1$ – $10$  Гц;
- режим багаторазового повторення забезпечується електронним блоком керування, який синхронізує процеси заряд–розряд;
- тип комутаторів – тиристорні вимикачі;

– напруга мережі живлення:  $\sim 380/220$  В.

Об'єкт обробки – двері автомобіля з поверхнею, що деформована, та виділеною вм'ятиною, яка буде усуватися, – зображений на рис. 2.

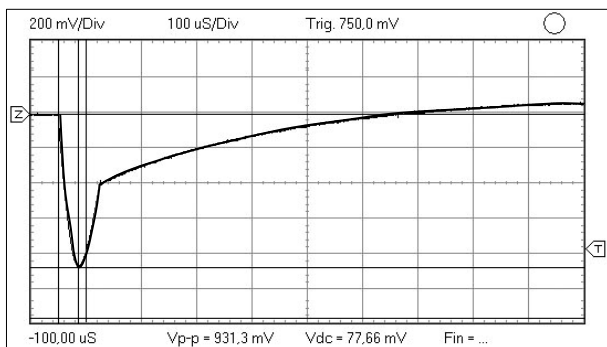


Рис. 2. Вм'ятини, що підлягає усуненню

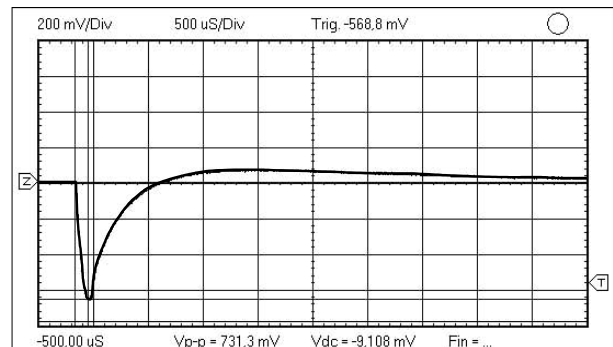
Характерний вигляд струмових імпульсів, які генеруються джерелом потужності МІУС-2 в експериментах, що проводилися, показаний на рис. 3.

### Практична апробація магнітно-імпульсного рихтування

Послідовність операцій при силовій апробації представленого магнітно-імпульсного комплексу для усунення вм'ятин у металевих покриттях автомобільних кузовів ілюструється рис. 4, що демонструє процес реального рихтування як процес практичного виконання заданої виробничої операції і акцентує відмінні переваги запропонованої прогресивної технології ремонту автотранспорту.



а



б

Рис. 3. Типові осцилограми струмових імпульсів у розрядному контурі МІУС-2: а – без навантаження, зарядна напруга  $\sim 370$  В; б – з навантаженням – індукторною системою з екраном, що притягає, зарядна напруга  $\sim 1100$  В



а



б

Рис. 4. Виконання зовнішнього магнітно-імпульсного рихтування вм'ятини: а – інструмент в дії; б – двері після рихтування

Робоча поверхня інструмента рихтування є досить рівною. Вона жорстко зафіксована над вм'ятиною. Така поверхня обмежує рух металу вм'ятини, що видаляється, і визначає рівень якості виконуваної виробничої операції. За необхідності операція повторюється до досягнення необхідного результату.

### Висновки

Основні результати проведених експериментів зводяться до таких положень.

1. Експериментально продемонстровано практичні можливості індукторної системи з екраном, що притягає, – ефективного інструмента магнітно-імпульсного рихтування металевих покриттів елементів автомобільних кузовів.

2. Практично реалізований керований (дозований) силовий магнітно-імпульсний вплив, що дає змогу здійснювати контрольоване деформування листового металу в зоні обробки.

3. Продемонстровані на практиці переваги зовнішнього безконтактного вирівнювання деформованих ділянок поверхні автомобільних кузовів (зовнішнє безконтактне рихтування), яке не потребує, на відміну від відомих аналогів, розбирання на елементи з метою обов'язкового доступу з внутрішньої сторони вм'ятини, що вирівнюється.

Подальшими перспективними напрямками дослідження можна вважати підвищення ефективності інструментів магнітно-імпульсної обробки металів за рахунок поліпшення магнітних зв'язків між інструментом та об'єктом обробки та за рахунок змінення геометричної конфігурації індуктора.

### References

- [1] Yu.V. Batygin *et al.*, “Pulsed electromagnetic attraction of sheet metals – Fundamentals and perspective applications”, *J. Mater. Proces. Technol.*, vol. 213, no. 3, pp. 444–452, 2013. doi: 10.1016/j.jmatprotec.2012.10.003
- [2] Yu.V. Batygin “Experimental test of the tool for the external EMF removing dents on a car body”, *Int. J. Energy Power Eng.*, vol. 3, no. 4, pp. 204–208, 2014. doi: 10.11648/j.ijep.20140304.14
- [3] Yu.V. Batygin *et al.*, “The rationale for the operability of an “inductor system with a puller screen” excited by an external plane circular solenoid”, *Avtomobil' i Jelektronika. Sovremennye Tehnologii*, no. 11, pp. 85–90, 2017.
- [4] A.N. Turenko *et al.*, *The Pulse Magnetic Fields for Advanced Technologies*, vol. 3, *Theory and Experiment of Thin-Walled Metals Attraction by the Pulse Magnetic Fields*. Kharkov, Ukraine: KhNAHU Publ., 2009.
- [5] Yu.V. Batygin *et al.*, “Generator of multiple current pulses for magnetic pulse processing of metals”, UA Patent 44933, Oct. 26, 2009.
- [6] Yu.V. Batygin *et al.*, “Pulsed electromagnetic attraction of nonmagnetic sheet metals”, *J. Mater. Proces. Technol.*, vol. 214, no. 2, pp. 390–401, 2014. doi: 10.1016/j.jmatprotec.2013.09.018
- [7] Yu.V. Batygin *et al.*, “Method of the magnetic-pulse attraction of metal workpieces by single-turn circular inductor located above the auxiliary screen”, UA Patent 77579, Febr. 25, 2013.
- [8] *Welcome to BETAG Innovation* [Online]. Available: <http://www.betaginnovation.com>

Е.А. Чаплыгин, С.О. Шиндерук, Е.А. Третинников

#### АПРОБАЦИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ИНДУКТОРНОЙ СИСТЕМЫ С ПРИТЯГИВАЮЩИМ ЭКРАНОМ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ВМЯТИН В ЛИСТОВИХ МЕТАЛЛАХ

**Проблематика.** Внешнее бесконтактное выравнивание деформированных участков поверхности автомобильных кузовов, не требующее, в отличие от известных аналогов, разборки на элементы с целью непосредственного доступа с внутренней стороны удаляемой вмятины, является насущной востребованной операцией на многих станциях технического обслуживания. Для этой операции в ее классическом понимании (механическим способом) характерны такие недостатки: низкая скорость выполнения операции выравнивания, ее высокая себестоимость и, как правило, невозможность сохранения лакокрасочного покрытия. Предложенная методика позволяет избавиться от перечисленных недостатков при выполнении операции рихтовки.

**Цель исследования.** Практическая апробация инструмента магнитно-импульсной обработки металлов – цилиндрической индукторной системы с притягивающим экраном, на примере внешнего бесконтактного выравнивания деформированных участков поверхностью кузовов автомобилей.

**Методика реализации.** Использование технологий магнитно-импульсной обработки металлов (МИОМ) в операциях внешнего удаления вмятин на поверхности автомобильных кузовов, а именно на двери автомобиля, с помощью индукторной системы с притягивающим экраном, – инструмента МИОМ.

**Результаты исследования.** Успешно апробирован способ внешнего бесконтактного выравнивания деформированных участков поверхности автомобильных кузовов. Практически реализовано управляемое (дозированное) силовое магнитно-импульсное воздействие, что позволяет осуществлять контролируемое деформирование листового металла в зоне обработки при удалении вмятин цилиндрической индукторной системой с притягивающим экраном.

**Выводы.** Экспериментально продемонстрированы практические возможности удаления вмятин на поверхности двери автомобиля индукторной системой с притягивающим экраном, – эффективным инструментом магнитно-импульсной обработки листовых металлов. Продемонстрированы на практике преимущества внешней бесконтактной рихтовки с использованием технологий МИОМ, не требующей, в отличие от известных аналогов, разборки на элементы с целью обязательного доступа с внутренней стороны выравниваемой вмятины, и это значительно сокращает затраты времени на операцию и позволяет сохранить лакокрасочное покрытие.

**Ключевые слова:** магнитно-импульсная обработка; индукторная система; вмятина; многвитковый соленоид.

E.A. Chaplygin, S.A. Shinderuk, E.A. Tretinnikov

#### APPROBATION OF THE CYLINDRICAL INDUCTOR SYSTEM WITH A PULLER SCREEN FOR DENT REMOVING IN SHEET METALS

**Background.** External contactless removal of the deformed sections of the surface of car bodies, which, unlike the known analogs, requires disassembling the elements for the purpose of direct access from the inside of the removed dent, is an urgent demanded operation for many service stations. This operation, in its classical understanding (mechanically), has the following disadvantages: low speed of the removal operation, cost price and, as a rule, inability to preserve the car paint. The proposed method allows getting rid of many of the above disadvantages when performing the straightening operation.

**Objective.** The aim of the paper is to determine the work efficiency and practical approbation of a tool for magnetic-pulse treatment of metals – a cylindrical inductor system with a puller screen, for example, an external contactless removal of deformed sections of vehicle surfaces.

**Methods.** Using the technology of electromagnetic-pulse forming of metals (EMF) in the operations of external dent removal on the vehicle surfaces of car bodies, namely on the car door, with inductor system with a puller screen, – the EMF tool.

**Results.** The method of external contactless straightening of deformed sections of the surface of car bodies has been successfully tested. Controlled (dosed) power magnetic-pulse action that allows to carry out controlled deformation of sheet metal in the treatment zone when removing dents by a cylindrical inductor system with a puller screen has been practically realized.

**Conclusions.** Practical possibilities of removing dents on the car door surface with an inductor system with a puller screen, – an effective tool for magnetic-pulse processing of sheet metals – have been experimentally demonstrated. The advantages of external contactless dent removing, using EMF technology have been demonstrated in practice. Unlike the known analogs, it doesn't require disassembly of the elements for mandatory access from the inside of the removing dent, and this significantly reduces the time spent on the operation and allows preserving the paintwork.

**Keywords:** magnetic-pulse treatment; inductor system; dent; multi-turn solenoid.

Рекомендована Радою  
інженерно-фізичного факультету  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

Надійшла до редакції  
16 листопада 2017 року

Прийнята до публікації  
6 вересня 2018 року