

# З ДОСВІДУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

УДК 621.318

Є. О. Чаплигін, С. О. Шиндерук, О. С. Сабокар, В. В. Дзюба  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет,  
кафедра фізики

## ВИДАЛЕННЯ ВМ'ЯТИН НА МЕТАЛЕВИХ ПОКРИТТЯХ АВТОМОБІЛІВ ЗА ДОПОМОГОЮ «ІНДУКТОРНОЇ СИСТЕМИ З ЕКРАНОМ, ЩО ПРИТЯГАЄ»

© Чаплигін Є. О., Шиндерук С. О., Сабокар О. С., Дзюба В. В., 2018

Експериментальна апробація «індукторної системи з екраном, що притягає» із зовнішнім збудженням за допомогою багатопиткового кругового соленоїда, у виробничій операції з безконтактного видалення вм'ятин у зразках листових металів. Принцип дії інструменту притягання за низьких частот дає змогу ефективно проводити операцію притягання металів будь-якої фізичної природи.

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

**Experimental testing of "inductor system with attracted screen" with external excitement with the help of a multi-plate circular solenoid, in the production operation of contactless removal of dents in work piece of sheet metals. The principle of operation attraction tool of at low frequencies allows to effectively carry out the operation of attracting metals of any physical nature.**

*Key words: magnetic-pulse treatment, inductor system, dent, solenoid.*

### Постановка проблеми та її зв'язок із важливими науковими завданнями

Зовнішнє безконтактне вирівнювання деформованих ділянок на прикладі поверхні кузовів автомобілів, 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. Швидкість виконання операції вирівнювання, її собівартість та збереження лакофарбового покриття є перевагою запропонованої технології.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

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

Проаналізовано електродинамічні процеси в «індукторній системі з екраном, що притягає», конструкція якої представлена циліндричним багатопитковим соленоїдом, на торці якого розміщені тонкостінні листові метали з різними геометричними та електрофізичними характеристиками. Один з 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 інструменту магнітно-імпульсного притягання, де поле збуджується протяжним циліндричним соленоїдом, нижчий рівень електромагнітного зв'язку між його обмоткою і листовими металами. Але цей недолік компенсується тим, що за доволі малого діаметра соленоїда стає можливим сконцентрувати сили притягання на невеликих площах заготовки, що оброблюється.

Очевидно, що ефективність індукторної системи із зовнішнім розташуванням джерела поля відносно до робочої зони визначається не тільки конструктивним виконанням соленоїда, що збуджується, але також співвідношенням товщини і провідності екрана і заготовки.

### Постановка завдання. Формулювання мети роботи

Мета цього розгляду – експериментальна апробація «індукторної системи з екраном, що притягає» із зовнішнім збудженням за допомогою багатовиткового кругового соленоїда, без додаткового джерела магнітного поля, у виробничій операції з безконтактного видалення вм'ятин у зразках листових металів.

Як показали дослідження, що були проведені, «індукторна система з екраном, що притягає» (ІСЕП) виявляється дієздатною і за відсутності витка у внутрішній порожнині між екраном і листовою заготовкою, тобто, за наявності тільки зовнішнього джерела магнітного поля. Цей висновок дає змогу запропонувати новий варіант її виконання. А саме, ІСЕП може містити як джерело магнітного поля тільки пласку багатовиткову котушку над додатковим допоміжним екраном. У цьому випадку взаємодія індуктованих струмів в екрані і заготовці має збуджувати сили їх взаємного притягання. Слід зазначити, що цей варіант ІСЕП може підключатися до магнітно-імпульсної установки без узгоджувального пристрою, оскільки конструктивна складова – «багатовиткова котушка – допоміжний екран» вже є імпульсним трансформатором струму (дискового типу).

Принцип дії ІСЕП, що збуджується зовнішнім джерелом магнітного поля, пояснимо із залученням найбільш ілюстративної фізичної ідеалізації, що виникає за інтенсивного проникнення діючих полів.

З апіорних феноменологічних міркувань випливає, що в разі достатньо «прозорих» екрана та заготовки в металі кожного з них індукуються струми з тимчасовими залежностями, пропорційними до похідної  $\sim \frac{dJ(t)}{dt}$ , де  $J(t)$  – струм індуктора. Своєю чергою, за законом Ампера

сила притягання буде прямо пропорційною до квадрата похідної  $\sim \left( \frac{dJ(t)}{dt} \right)^2$ . Сили відштовхування, що зумовлені взаємодією індуктованих струмів із збуджуваними магнітними полями, пропорційні до добутку  $\sim J(t) \cdot \frac{dJ(t)}{dt}$ . Інтеграл за часом дії сил від цього добутку є їх інтегральним імпульсом.

Очевидно, що для  $t \in [0; \infty)$  величина цього імпульсу, що визначає результуючу дієвість сил відштовхування, прямує до нуля [3, 4].

В обґрунтуванні практичної дієздатності запропонованого інструменту магнітно-імпульсного притягання обмежимося розглядом циліндричної конструкції індукторної системи з однаковими тонкостінними листовими немагнітними металами (реально, один з них – допоміжний екран, другий – об'єкт обробки) і пласкою багатовитковою котушкою, що розташована над поверхнею допоміжного екрана. Міжвиткові відстані – нехтовно малі.

Чисельні оцінки проведемо для  $I = 10$  кА,  $W = 12$ ,  $\omega = 2\pi \cdot 1500$  Гц,  $R = 0,005$  м,  $R = 0,05$  м,  $d = 0,001$  м,  $h = 0,005$  м. Результати обчислень наведено на рис. 1.

Отже, у запропонованій «індукторній системі з екраном, що притягає», повинні порушуватися лише сили притягання, сили відштовхування будуть відсутні.

Слід зазначити, що безперечною перевагою ІСЕП із багатовитковою котушкою, що розміщена ззовні допоміжного екрана, є також подальше збільшення однорідності просторового розподілу сил притягання, що порушуються.

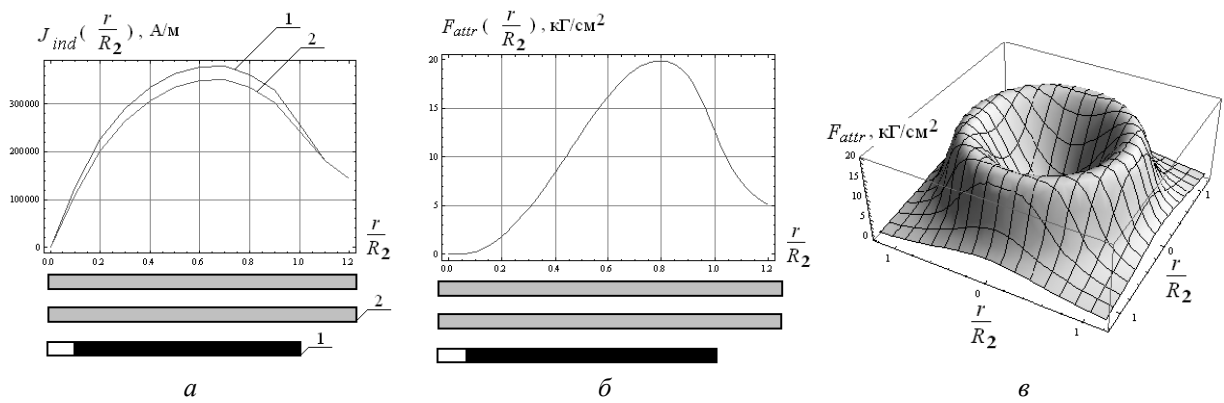


Рис. 1. Просторовий розподіл струмів збудження і сил притягання:

а – струми, що є індукованими в металі допоміжного екрана – 1 і листової заготовки – 2;  
 б – радіальний розподіл сили притягання; в – об'ємна еюра просторового розподілу сили притягання

### Експериментальна апробація видалення вм'ятин на металевих покриттях автомобілів

Для експериментальної апробації дієвості «індукторної системи з екраном, що притягає» (ІСЕП), що збуджується плоским круговим соленоїдом, було обрано виробничу операцію із зовнішнього безконтактного видалення вм'ятин у металевих покриттях легкових автомобілів. Цей вибір зумовлений, насамперед, актуальністю цієї операції в прогресивних технологіях ремонту сучасних автомобілів, що підтверджено на сайті провідного європейського концерну «Beulentechnik AG» [5].

Принципову конструкцію ІСЕП, що задіяна в експериментах, зображено на рис. 2.

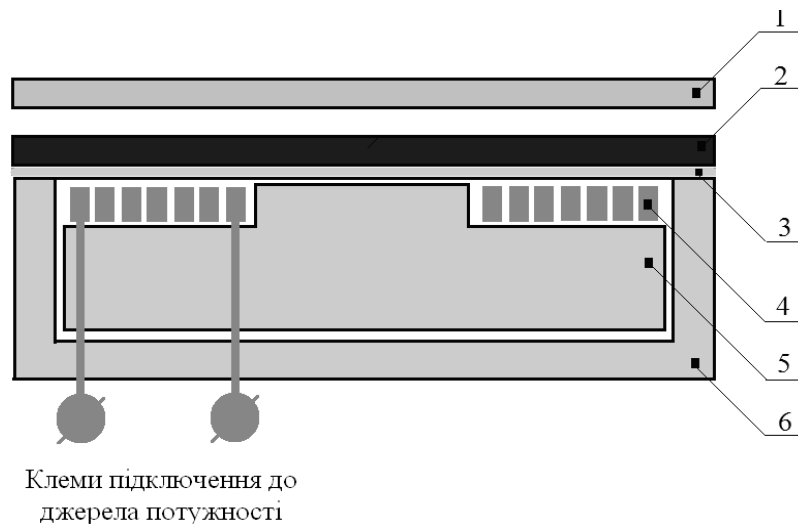


Рис. 2. Ескіз «індукторної системи з екраном, що притягає» в поперечному перерізі:

1 – листовая заготовка; 2 – допоміжний екран, що притягає; 3 – діелектрична прокладка;  
 4 – обмотка; 5 – діелектрична основа для розміщення обмотки; 6 – діелектричний корпус

Відмінними рисами інструменту такого роду є:

- збудження системи джерелом магнітного поля – багатовитковим соленоїдом, що розташований поза робочою зоною системи;
- поєднання функцій узгоджувального пристрою і власне інструменту силового магнітно-імпульсного впливу на об'єкт обробки.

Фактично запропонована конструкція «індукторної системи з екраном, що притягає», за результатом силової дії аналогічна добре відомому електромагніту. Але на відміну від останнього,

тут може бути здійснено притягання заданих ділянок не тільки феромагнетиків, а й металів будь-якої фізичної природи, завдяки зниженню частоти робочого сигналу.

Обмотку соленоїда, що збуджує, підключали до джерела потужності – магнітно-імпульсної установки МІУС-2, яку розробили і створили в лабораторії електромагнітних технологій Харківського національного автомобільно-дорожнього університету [3, 6–10]. Відмінною особливістю МІУС-2 є робота в серійному режимі. Тобто в режимі безперервного повторення заданого числа струмових імпульсів, що надходять в обмотку соленоїда, що збуджує і, в кінцевому підсумку, які трансформуються в імпульси силового притягання металу вм'ятини до площини екрана.

Схема, що реально моделює виробничу операцію з магнітно-імпульсного безконтактного зовнішнього видалення вм'ятин (мається на увазі з боку увігнутості) у зразках листових металів за допомогою «індукторної системи з екраном, що притягає» показано на рис. 3.



Рис. 3. Схема здійснення експериментальної операції з видалення вм'ятин у листових металах

Як експериментальні зразки взято листові метали з оцинкованої сталі і кузовних покриттів автомобілів «Ford» (рис. 4). Після силової дії на зразок спостерігається поступове зменшення вм'ятин. Після закінчення виробничої операції глибина вм'ятини становила  $\sim 0,0004$  м, що дозволяє зробити висновок про ефективність цього інструменту. Після повторення виробничої операції вм'ятини зникла повністю.

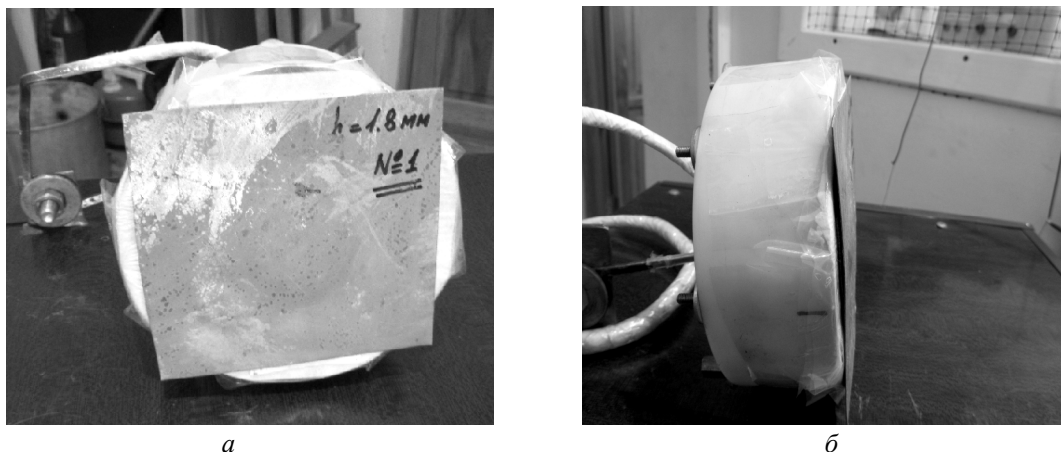


Рис. 4. Ілюстрація практичного здійснення експерименту (листова заготовка з оцинкованої сталі на робочій поверхні ІСЕР): а – зразок з вм'ятиною до силового впливу; б – вирівняна листова заготовка після магнітно-імпульсного притягання

Товщина зразків становила  $\sim 0,0008 \dots 0,001$  м. Вм'ятини, що створені механічно в кожному з них, мали глибину  $\sim 0,0018 \dots 0,002$  м та зовнішній діаметр  $\sim 0,05$  м.

Виробничу операцію здійснювали за такими показниками:

- Енергія, що запасасться і напруга на ємнісному накопичувачі  $\sim 2,4$  кДж і 1500 В, відповідно.
- Робоча частота струму в розряді  $\sim 1500$  Гц.
- Амплітуда струму в імпульсі  $\sim 12$  кА.
- Частота повторення струмових імпульсів  $\sim 5$  Гц.
- Кількість імпульсів силового притягання, що забезпечує вирівнювання листового зразка зі вм'ятиною  $\sim 18 \dots 20$ .

### Висновки

1. Наведено результати практичної дієздатності «індукторної системи з екраном, що притягає», що збуджується низькочастотним полем зовнішньої багатовиткової котушки. Показано, що у виробничій операції з безконтактного видалення вм'ятин у зразках листових металів індукторна система продемонструвала ефективність практичної реалізації способу ремонту автомобільних кузовів.

2. За реальних значень вихідних величин амплітуди сил притягання досягають  $\sim 2,0$  МПа. Усереднення по площі силового впливу дає величину  $\sim 1,0$  МПа.

3. Незначне і цілком реальне для практики збільшення струму індуктора, наприклад, до  $\sim 15$  кА, дає зростання сил притягання більш ніж в приблизно удвічі.

1. Гнатов А. В. Рихтовка кузовных панелей индукционной индукторной системой цилиндрической геометрии с тонкостенным экраном / А. В. Гнатов, С. А. Шиндерук, Е. А. Чаплыгин // Вестник ХНАДУ. – 2014. – Вып. 64. – С. 30 – 36. 2. Батыгин Ю. В. Экспериментальные исследования процессов в индукторной системе с притягивающим экраном при введении дополнительного витка / Ю. В. Батыгин, Е. А. Чаплыгин, С. А. Шиндерук // Електротехніка і електромеханіка. – 2014. – № 5. – С. 58–61. 3. Туренко А. Н. Импульсные магнитные поля для прогрессивных технологий. Т. 3. Теория и эксперимент притяжения тонкостенных металлов импульсными магнитными полями : монография / А. Н. Туренко, Ю. В. Батыгин, А. В. Гнатов. – Харьков : Издавництво Харківського національного автомобільно-дорожнього університету, 2009. – 240 с. 4. Яворский Б. М. Справочник по физике для инженеров и студентов ВУЗов / Яворский Б. М. Детлаф А. А., Лебедев А. К. – М : Наука, 2007. – 939 с. 5. Welcome to BETAG Innovation [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.betaginnovation.com>. 6. Пат. 44933 Україна, МПК В21 Д 26/14. Генератор багаторазових імпульсів струму для магнітно-імпульсної обробки металів / Батигін Ю. В., Бондаренко О. Ю., Гнатов А. В., Сериков Г. С., Чаплигін Є. О.; заявник та патентовласник Харківський нац. автом.-дорожн. ун-т. – № u200903072 ; заявлено 01.04.09; опубл. 26.10.09, Бюл. № 20. 7. Пат. 76845 Україна, МПК В21 Д 26/14. Спосіб магнітно-імпульсної обробки тонкостінних металів уніполярними імпульсами струму / Батигін Ю. В., Гнатов А. В., Чаплигін Є. О., Дзюбенко О. А., Аргун Ш. В., Бондарь С. В., заявник та патентовласник Харківський нац. автом.-дорожн. ун-т. – № u201206162; заявлено 22.05.12; опубл. 10.01.13, Бюл. № 1. 8. Пат. 77579 України, МПК В21 Д 26/14. Спосіб магнітно-імпульсного притягання металевих заготовок одновитковим круговим індуктором, розташованим над допоміжним екраном / Батигін Ю. В., Гнатов А. В., Чаплигін Є. О., Трунова І. С., Гопко А. В., Сабокар О. С.; заявник та патентовласник Харківський нац. автом.-дорожн. ун-т. – № u 2012 07542 заявлено 22.06.2012; опубл. 25.02.2013, Бюл. № 4. 9. Batygin Yu. V. Magnetic-pulse car body panels flattening. Theoretical aspects and practical results / Yu.V. Batygin, E. A. Chaplygin, O. S. Sabokar // Електротехніка і електромеханіка. – 2016. – № 5. – С. 54–57. 10. Batygin Yu. V. Magnetic pulsed processing of metals for advanced technologies of modernity – a brief review / Yu. V. Batygin, E. A. Chaplygin, O. S. Sabokar // Електротехніка і електромеханіка. – 2016. – № 5. – С. 35–39.