

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИЛОВОЇ ДІЇ ПРИ ЗОВНІШНЬОМУ БЕЗКОНТАКТНОМУ РИХТУВАННІ КУЗОВІВ ЛЕГКОВИХ АВТОМОБІЛІВ

**А.В. Гнатов, доцент, к.т.н., І.С. Трунова, аспірант,
Є.В. Трішкін, студент, ХНАДУ**

Анотація. Проведено аналіз електромагнітних процесів в суміщених узгоджувальних пристроях – інструментах магнітно-імпульсного рихтування автомобільних кузовів. За отриманими аналітичними виразами проведено чисельні оцінки та побудовано графічні залежності радіального розподілу струму в узгоджувальному пристрою. Встановлено, що величина коефіцієнту трансформації узгоджувальних пристроїв істотно залежить від електрофізичних властивостей металу їх вторинної обмотки.

Ключові слова: магнітно-імпульсне рихтування, магнітно-імпульсна установка, узгоджувальний пристрій, видалення вм'ятин, зовнішнє рихтування, індуктор.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИ ВНЕШНЕЙ БЕСКОНТАКТНОЙ РИХТОВКИ КУЗОВОВ ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

**А.В. Гнатов, доцент, к.т.н., И.С. Трунова, аспирант,
Е.В. Тришкин, студент, ХНАДУ**

Аннотация. Проведен анализ электромагнитных процессов в совмещенных согласующих устройствах – инструментах магнитно-импульсной рихтовки автомобильных кузовов. По полученным аналитическим выражениям проведены численные оценки и построены графические зависимости радиального распределения тока в согласующем устройстве. Установлено, что величина коэффициента трансформации согласующих устройств существенно зависит от электрофизических свойств металла их вторичной обмотки.

Ключевые слова: магнитно-импульсная рихтовка, магнитно-импульсная установка, согласующее устройство, удаление вмятин, внешняя рихтовка, индуктор.

THE EFFICIENCY UPGRADING OF FORCE ACTION FOR EXTERNAL NON-CONTACT STRAIGHTENING OF CAR BODIES

**A. Hnatov, assistant professor, cand. eng. sc.,
I. Trunova, postgraduate, E. Trishkin, student, KhNAHU**

Abstract. Analysis of electromagnetic processes in combined matching devices – instruments of magnetic-pulse car body straightening was carried out. According to obtained analytical expressions, numerical estimates were conducted and graphical dependences of radial current distribution in matching device were constructed. Established that the transformation ratio of matching devices essentially depends on electrophysical characteristic of the metal of their secondary coil.

Key words: magnetic-pulse straightening, magnetic-pulse installation, matching device, removing dents, straightening outside the inductor.

Вступ

У наш час особливого значення набувають прогресивні технології, які задовольняють вимоги екологічної чистоти, високої продуктивності і низького енергоспоживання.

До перспективних прогресивних технологій такого типу відноситься магнітно-імпульсне рихтування кузовних панелей транспортних засобів. Найбільшою перевагою особливості практичного застосування методів магнітно-імпульсного притягання у транспортних галузях є можливість усунення вм'ятин у металевих обшивках автомобільних кузовів без механічних контактів з об'єктами обробки і без порушення захисного покриття. Останній фактор набуває особливого значення, якщо вм'ятина неглибока і покриття не було ушкоджено. У зв'язку з цим, зростає необхідність у розробці різноманітних технічних пристроїв та конструкцій інструментів, які дозволяють виконувати зовнішнє безконтактне рихтування кузовів легкових автомобілів. В першу чергу це конструкції, так звані узгоджувальні пристрої (УП), які дозволяють істотно підвищити ефективність зовнішнього рихтування кузовів легкових автомобілів в цілому.

Аналіз публікацій

В практиці зовнішнього магнітно-імпульсного рихтування для підвищення рівня енергії, що передається від потужних імпульсних установок (джерел потужності) в малоіндуктивні навантаження (індукторні системи) застосовуються УП, які представляють собою імпульсні трансформатори струму [1, 2]. Первинна обмотка УП підключається до виходу розрядного контуру магнітно-імпульсної установки, вторинна – до входних клем індуктора – інструмента методу. Призначення УП полягає в перетворенні амплітудно-часових параметрів струму при розряді ємнісних нагромаджувачів, що дозволяє істотно підвищити величину силової дії на оброблюваний об'єкт [3].

В лабораторії електромагнітних технологій ХНАДУ розроблено ряд УП (циліндричного та дискового типів), використання яких дозволяє виконувати раніше важко реалізовані, а часом і неможливі технологічні операції з відновлення кузовних панелей автомобілів [4]. Це відкриває абсолютно нові можливості

в ремонті та відновленні кузовів автотранспортних засобів, тому що операції з рихтування можуть бути виконані без додаткового розбирання кузовних елементів, а іноді і без порушення лакофарбового покриття [2].

Мета та постановка задачі

Метою даної роботи є підвищення ефективності методів рихтування кузовів легкових автомобілів, розробка та удосконалення інструментів для технології зовнішнього магнітно-імпульсного рихтування кузовів автотранспортних засобів.

Дослідження УП – інструментів зовнішнього рихтування вм'ятин

Загальною, незалежно від конструкції УП є рекомендація: навантаження його вторинного контуру повинно мати еквівалентний електричний опір, набагато менший, ніж опір умовної паралельної гілки [1]. У цьому випадку забезпечується максимально можлива величина струму в індукторі – інструменті магнітно-імпульсного методу рихтування і максимум силової дії на оброблюваний об'єкт. Як показали експерименти, місця приєднання індуктора до УП (гвинтові кріплення по краях розрізу) характеризуються високими перехідними опорами, які значно збільшують еквівалентний опір навантаження вторинного контуру. У зв'язку з цим один з варіантів виконання вище зазначеної рекомендації полягає у виключенні перехідних опорів, що можливо при суміщенні УП з індуктором. Останнє означає їх виготовлення у вигляді єдиного цілого – інструменту магнітно-імпульсного рихтування [5], що дозволяє суттєво підвищити рівень передачі енергії в його робочу зону.

Суміщений УП дискового типу – це пристрій з вторинною обмоткою у вигляді диска відповідної конструкції, що виконує функції інструменту магнітно-імпульсного рихтування (рис. 2, а).

Суміщений УП циліндричного типу представляє собою пристрій з вторинною обмоткою у вигляді порожнього циліндра, торцева частина якого виконує функції інструменту магнітно-імпульсного рихтування (рис. 2, б).

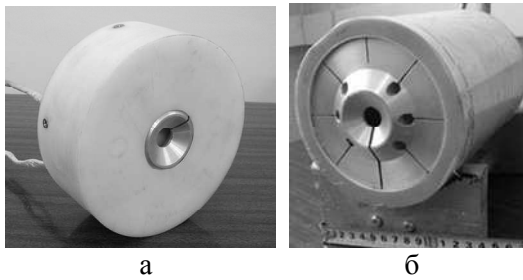


Рис. 2. Конструктивне виконання суміщених УП: а – дискового типу; б – циліндричного типу

Розрахункові моделі приведених УП представлені на рис. 3

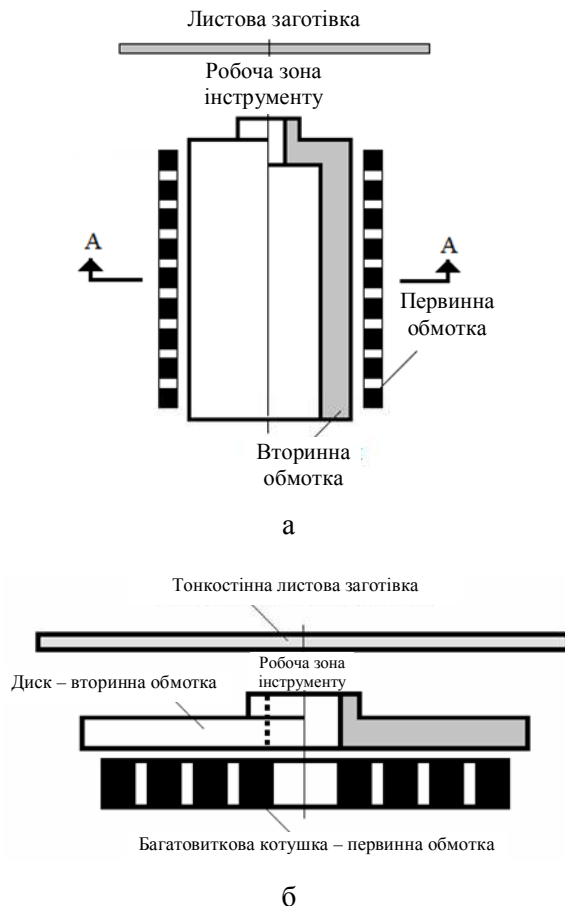


Рис. 3. Розрахункова модель УП: а – циліндричного типу; б – дискового типу

Згідно представлених розрахункових моделей проведено аналіз електромагнітних процесів, що протікають у розглянутих конструкціях суміщених УП. Не зупиняючись на математичних операціях по інтегруванню рівнянь Максвелла, з робіт [6-8] запишемо отримані математичні вирази.

Для суміщеного УП дискового типу: залежність для радіального розподілу лінійної густини індукованого струму:

$$J_{\varphi}(r, \varphi) = 2 \cdot j_m \cdot \int_0^{\infty} f(x) \cdot e^{-x \cdot \frac{h}{d}} \cdot x \cdot J_1(x \cdot \frac{r}{d}) \cdot \sum_{k=0}^{\infty} \frac{F_{2k}(\mu_r \cdot x)}{\Phi_k(\mu_r \cdot x)} \cdot f_{1k}(x, \varphi) \cdot dx;$$

– інтегральна величина струму, індукованого в металевому диску:

$$I_{\varphi}(R_0, \varphi) = 2(j_m d) \int_0^{\infty} f(x) \cdot e^{-x \cdot \frac{h}{d}} \cdot \left(1 - J_0\left(x \cdot \frac{R_0}{d}\right)\right) \cdot \left(\sum_{k=0}^{\infty} \frac{F_{2k}(\mu_r \cdot x)}{\Phi_k(\mu_r \cdot x)} \cdot f_{1k}(x, \varphi)\right) dx;$$

– формула для оцінки коефіцієнта трансформації:

$$K(R_0) = 2 \left(\frac{d \cdot w}{(R_2 - R_1) \cdot (e^{-\delta_0 \cdot \varphi_{1\max}} \sin \varphi_{1\max})} \right) \int_0^{\infty} f(x) \cdot e^{-x \cdot \frac{h}{d}} \left(1 - J_0\left(x \cdot \frac{R_0}{d}\right)\right) \left(\sum_{k=0}^{\infty} \frac{F_{2k}(\mu_r \cdot x)}{\Phi_k(\mu_r \cdot x)} \cdot f_{1k}(x, \varphi_{2\max})\right) dx.$$

Далі наводяться розрахункові співвідношення для суміщеного УП циліндричного типу:

– залежності для компонент напруженості електричного і магнітного полів в металі вторинного витка:

$$\begin{cases} E_{\varphi}^{(2)}(p, r) \approx \frac{1}{\sqrt{r}} \cdot (C_1(p) \cdot e^{k_1(p)r} + D_1(p) \cdot e^{-k_1(p)r}), \\ H_z^{(2)}(p, r) \approx -\frac{1}{\sqrt{r}} \cdot \frac{\gamma}{k_1(p)} \cdot (C_1(p) \cdot e^{k_1(p)r} - D_1(p) \cdot e^{-k_1(p)r}); \end{cases}$$

– струм індукований в металі внутрішнього циліндра, знайдено за законом повного струму:

$$H_z^{(2)}(p, r = R_1) \approx \left(\frac{J_1(p) + J(p) \cdot w}{\ell} \right);$$

За отриманими розрахунковими співвідношенням було проведено чисельні оцінки для ситуацій реальних при магнітно-імпульсному рихтуванні і побудовано графічні залежності (рис. 4).

Чисельні оцінки. Вихідні дані

Експериментальна індукторна система:

- соленоїд – $R_1 = 0,01$ м, $R_2 = 0,06$ м, $w = 10$;
- робочий зазор між поверхнями соленоїда і листовим металом – $h = 0,0005$ м.

Листовий метал:

- алюміній з питомою електропровідністю $\gamma = 4,0 \cdot 10^7$ 1/Ом·м і товщиною $d = 0,01$ м;
- сталь з питомою електропровідністю $\gamma = 4,0 \cdot 10^7$ 1/Ом·м і товщиною $d = 0,01$ м, величина відносної магнітної проникності обрана згідно роботи [9] (відповідає усередненими оцінками) та складає $\mu_r \approx 2,5$.

Ток в первинній обмотці:

- частота в імпульсі – $f = 2,0$ кГц;
- відносний декремент загасання – $\delta_0 = 0,3$;
- амплітуда – $J_m \approx 11 \div 12$ кА.

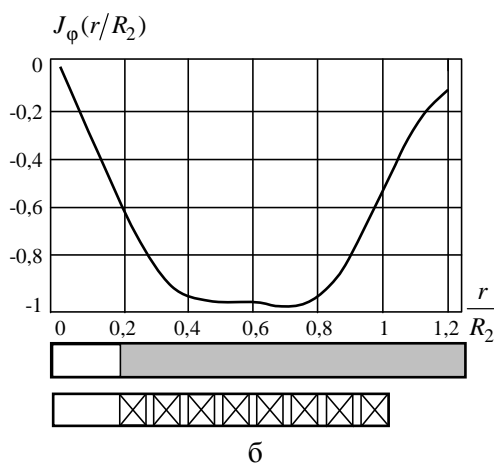
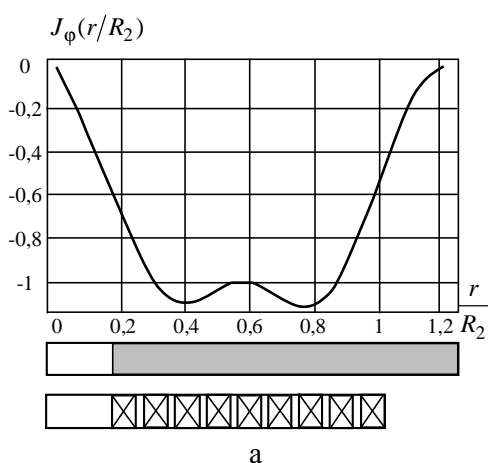


Рис. 4. Радіальний розподіл струмів, індукованих у металі диска для УП дискового типу: а – метал диска – алюміній; б – метал диска – сталь

Із проведених обчислень витікає, що:

- часова форма струму, індукованого в металі диска – вторинній обмотці, практично повторює часову форму струму в первинній обмотці узгоджувального пристрою, (з точністю до знаку) незалежно від електрофізичних властивостей металу диска;
- радіальний розподіл струму, індукованого у вторинній обмотці – металі диска, залежить від електрофізичних властивостей металу, що необхідно враховувати при проектуванні узгоджувальних пристроїв;
- розподіл індукованого струму по товщині вторинної обмотки – диска залежить від його електрофізичних властивостей: із зменшенням провідності умовна ширина шару протікання індукованого струму зростає, а зі збільшенням – падає і в межі наближається до нуля, що відповідає ідеальному провіднику;
- величина коефіцієнта трансформації в схемі узгоджувального пристрою як імпульсного трансформатора струму, істотно залежить від електрофізичних властивостей металу диска: при збільшенні питомої електропровідності коефіцієнт трансформації зростає (сталь – алюміній зріст становить $\sim 20\%$).
- при проектуванні узгоджувальних пристроїв дискового типу в якості орієнтовної величини коефіцієнта трансформації може бути прийнята величина $\sim 0,5 \cdot w$, w – число витків в первинній обмотці.

Висновки

1. Встановлено, що для дискових суміщених УП пристроїв величина коефіцієнта трансформації, істотно залежить від електрофізичних властивостей металу диска, що необхідно враховувати при проектуванні УП.
2. Для циліндричних суміщених УП встановлено, що для певної геометрії системи, часових параметрів струму в первинній обмотці і провідності металу вторинної обмотки коефіцієнт трансформації за струмом може досягти свого максимального значення.
3. Запропоновані суміщені узгоджувальні пристрої можуть розглядатися як системи, які в цілому представляють собою інструменти для магнітно-імпульсного рихтування пошкоджених кузовних панелей автомобілів.

Література

1. Белый И. В. Справочник по магнитно-импульсной обработке металлов / И. В. Белый, С. М. Фертик, Л. Т. Хименко. - Харьков: Вища школа, 1977. - 189 с.
2. Туренко А. Н. Импульсные магнитные поля для прогрессивных технологий. Том 3. Теория и эксперимент притяжения тонкостенных металлов импульсными магнитными полями: монография / А. Н. Туренко, Ю. В. Батыгин, А. В. Гнатов. - Харьков: ХНАДУ, 2009. - 240 с.
3. Экспериментальные исследования согласующих устройств – импульсных трансформаторов тока, в бесконтактной рихтовке транспортных средств: Міжнародна науково-технічна конференція [„Науково-прикладні аспекти автомобільної галузі”] (Луцьк 2012 р.) / А. В. Гнатов, Щ. В. Аргун, И. С. Трунова. - Луцьк : Наукові нотатки, В.36. - 2012. - С. 53–57.
4. Согласующие устройства // Матеріали сайту – 2012. – Режим доступу : <http://electromagnetic.comoj.com/rezultati.html>.
5. Пат. 68745 Україна, МПК В21D 26/14. Спосіб магнітно-імпульсної обробки тонкостінних металевих заготовок / Батигін Ю. В., Гнатов А. В., Аргун Щ. В., І. С. Трунова, Чаплигін Є. О.; заявник та патентовласник Харківський національний автомобільно-дорожній університет. – № u 201111225 ; заявл. 21.09.2011; опубл. 10.04.2012, Бюл. № 7.
6. Трунова И.С. Исследование электромагнитных процессов в совмещенном согласующем устройстве цилиндрического типа с массивным одновитковым индуктором / И.С. Трунова // Харків: Електротехніка і електромеханіка, 2013. –№2. – С. 68 – 71.
7. Батыгин Ю. В. Инструмент магнитно-импульсной технологии ремонта на основе совмещенного согласующего устройства цилиндрического типа / Ю.В. Батыгин, А.В. Гнатов, И.С. Трунова // Новосибирск: Обработка металлов, 2013. – №2(59). – С.19–24.
8. Анализ процессов в инструменте магнитно-импульсной рихтовки на основе совмещенного согласующего устройства дискового типа. Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2013) [Збірка матеріалів V Міжнародної науково-практичної конференції. У 2-х тт. (28-30 травня, 2013 р., Херсон)] Трунова И.С. – Т.2. – Херсон : Херсонська державна морська академія, 2013. – 240 с. С. 163 – 166.
9. Батигін Ю. В. Особливості збудження електромагнітних сил при магнітно-імпульсній обробці листових феромагнетиків / Ю. В. Батигін, А. В. Гнатов // Технічна електродинаміка. – К. : ІЕ НАН України. – 2012. – № 1. – С. 71–77.

Рецензент: Ю.В. Батигін, професор, д.т.н., ХНАДУ.

Стаття надійшла до редакції 8 жовтня 2013 р.