

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

УДК 621.318

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНДУКТИВНОСТИ
ИНСТРУМЕНТОВ-ИНДУКТОРОВ ДЛЯ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ
РИХТОВКИ

А.В. Гнатов, доц., к.т.н., Щ.В. Аргун, ассист., О.С. Василевич, студ.,
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

Аннотация. Проведены экспериментальные исследования основного параметра – индуктивности индукторов-инструментов для магнитно-импульсных методов кузовного ремонта автотранспортных средств. Представлены фотоиллюстрации исследуемых индукторных систем и измеренных осциллограмм. Проведена обработка осциллограмм с определением индуктивности исследуемых индукторных систем.

Ключевые слова: магнитно-импульсная рихтовка, магнитно-импульсная установка, индуктор-инструмент, индуктивность, индукторная система.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ІНДУКТИВНОСТІ ІНСТРУМЕНТІВ-
ІНДУКТОРІВ ДЛЯ МАГНІТНО-ІМПУЛЬСНОГО РИХТУВАННЯ

А.В. Гнатов, доц., к.т.н., Щ.В. Аргун, асист., О.С. Василевич, студ.,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. Проведено експериментальні дослідження основного параметра – індуктивності індукторів-інструментів для магнітно-імпульсних методів кузовного ремонту автотранспортних засобів. Надано фотоілюстрації досліджуваних індукторних систем і зміряних осцилограм. Проведено обробку осцилограм з визначенням індуктивності досліджуваних індукторних систем.

Ключові слова: магнітно-імпульсне рихтування, магнітно-імпульсна установка, індуктор-інструмент, індуктивність, індукторна система.

THE EXPERIMENTAL DEFINITION OF THE INDUCTANCE OF TOOLS AS
INDUCTORS FOR MAGNETIC PULSE STRAIGHTENING

A. Hnatov, Assoc. Prof., Ph. D. (Eng.), Sch. Arhun, T. Asst., O. Vasyliovych, St.,
Kharkov National Automobile and Highway University

Abstract. The results of the experimental researches of the basic parameter – the inductance of the tools as inductors for magnetic pulse methods of the body repair of vehicles has been carried out. The photos of the studied inductor systems and the measured oscillograms have been presented. The treatment of the oscillograms with definition of the inductance of the studied inductor system is carried out.

Key words: magnetic pulse straightening, magnetic pulse equipment, inductor as a tool, inductance, inductor system.

Введение

Разработка магнитно-импульсных комплексов для внешней рихтовки повреждённых

кузовных панелей автомобилей является весьма актуальной научно-технической задачей. Согласно статистике, в авиа- и автопромышленности около 80 % приходится на

небольшие и средние повреждения. Половина из них – это вмятины, которые не требуют замены всего поврежденного элемента кузова и могут быть успешно устранены с помощью рихтовки. Это ещё раз говорит об актуальности решаемой проблемы [1, 2].

Оборудование для магнитно-импульсной рихтовки так же, как и любая система для магнитно-импульсной обработки металлов, делится на два функциональных блока: это источник мощности – магнитно-импульсная установка (МИУ) и индукторная система (ИС) – инструмент рихтовки [1, 3, 4].

В общем случае ИС – инструмент магнитно-импульсного метода, назначение которого состоит в выполнении определённого производственного задания, в рассматриваемом случае – внешней рихтовки металлических элементов кузовных панелей автомобилей с помощью развиваемых сил притяжения.

Для эффективной практической реализации магнитно-импульсных методов необходим индуктор-инструмент (ИС), трансформирующий энергию, накопленную в емкостных накопителях МИУ, в энергию импульсного магнитного поля. Эффективность и КПД данного процесса определяются соотношением электротехнических параметров МИУ и ИС. Наиболее важным параметром является индуктивность. Зная индуктивность ИС и согласуя ее с индуктивностью МИУ, можно добиться эффективного выполнения операции рихтовки [1–5].

Анализ публикаций

Возможности магнитно-импульсных методов были впервые продемонстрированы специалистами США в 1958 году с помощью опытной МИУ типа «Magneform» на II международной конференции по мирному использованию атомной энергии (Швейцария) [6]. Первая в мире промышленная МИУ «Magneform-1» была изготовлена в 1962 году американской фирмой General Dynamics Corporation [7].

В середине 1960-х фирмы Германии (Siemens, Hahn and Kolb), лаборатории Великобритании (Wickmen, Machine Tools), Франции (General D'Electricity), Швейцарский научный центр (General Atomic Europe) и японские компании (Mitsubishi Danku,

Dzankusu Cabusiky Kise) начали разработки магнитно-импульсных комплексов. В СССР работы по исследованию и разработке технологического оборудования для обработки металлов давлением сильных импульсных магнитных полей были начаты в 1962 году в Харьковском политехническом институте.

На данный момент проводятся различные исследования ИС. Такие исследования необходимо проводить с учетом конкретных целей, для которых разрабатывается ИС. Как показали многочисленные эксперименты [3, 5, 8, 9], такой параметр как индуктивность ИС является определяющим.

Цель и постановка задачи

Целью работы являются экспериментальные измерения индуктивности индукторно-инструментов для магнитно-импульсных методов кузовного ремонта автотранспортных средств.

Для достижения поставленной цели необходимо провести: измерение индуктивности комплекса для имитации процессов в инструментах магнитно-импульсной рихтовки вмятин в элементах автомобильных кузовов; измерение индуктивности цилиндрического массивного индуктора, рабочая область которого в сечении имеет форму усеченного конуса (рис. 1, а); измерение индуктивности индукционной индукторной системы (ИИС) с тонкостенным дополнительным экраном и цилиндрическим индуктором с аксиальной симметрией индуктора (индуктор без разреза) (рис. 1, б); измерение индуктивности ИИС с тонкостенным дополнительным экраном и цилиндрическим индуктором с разрезом (рис. 1, в); измерение индуктивности ИИС с тонкостенным дополнительным экраном и цилиндрическим индуктором с разрезом и подключенными параллельно основному витку дополнительными витками, противоположными экрану (рис. 1, г); измерение индуктивности ИИС с массивным дополнительным экраном и двухвитковым цилиндрическим индуктором (рис. 1, д); измерение индуктивности ИИС с тонкостенным дополнительным экраном и двухвитковым индуктором прямоугольной формы (рис. 1, е); измерение индуктивности двухвиткового индуктора прямоугольной формы (без дополнительного экрана) (рис. 1, ж); измерение индуктивности ИИС с массивным дополнительным экраном и цилиндрическим индуктором (рис. 1, з).

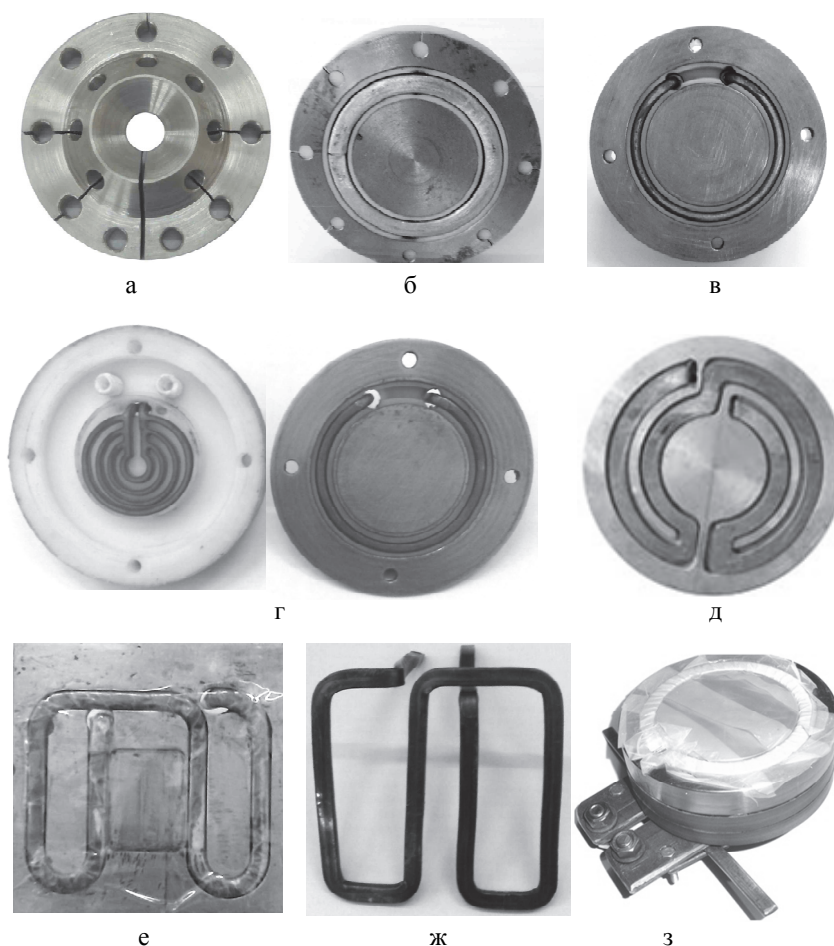


Рис. 1. Исследуемые индукторы-инструменты

Условия эксперимента

Экспериментальные исследования проводились на комплексе для имитации и моделирования процессов в инструментах магнитно-импульсной обработки металлов, разработанном в лаборатории электромагнитных технологий ХНАДУ (рис. 2).

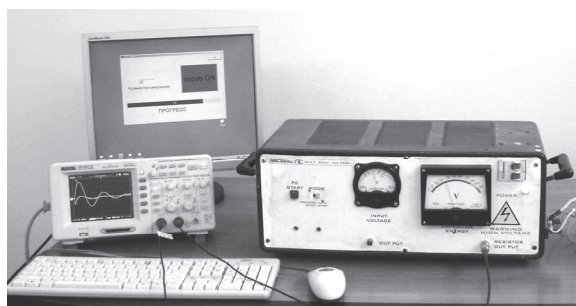


Рис. 2. Комплекс для имитации и моделирования процессов в инструментах магнитно-импульсной обработки металлов

Комплекс работал в серийном режиме генерации разрядных импульсов при следующих параметрах [10]:

- напряжение питающей сети $\sim U_c = 220$ В;
- напряжение заряда емкостных накопителей $U_3 = 650$ В;
- ёмкость конденсаторов комплекса $C = 33$ мкФ;
- частота следования разрядных импульсов $f_{имп} = 20$ Гц.

Осциллограммы сигналов измерялись в разрядной цепи комплекса с помощью цифрового осциллографа PV6501 через включенный в разрядную цепь шунт с сопротивлением $R_{ш} = 12,5 \cdot 10^{-3}$ Ом.

Измеренные осциллограммы сигналов в соответствии с поставленными задачами представлены на рис. 3 (для большей наглядности представлено 8 осциллограмм).

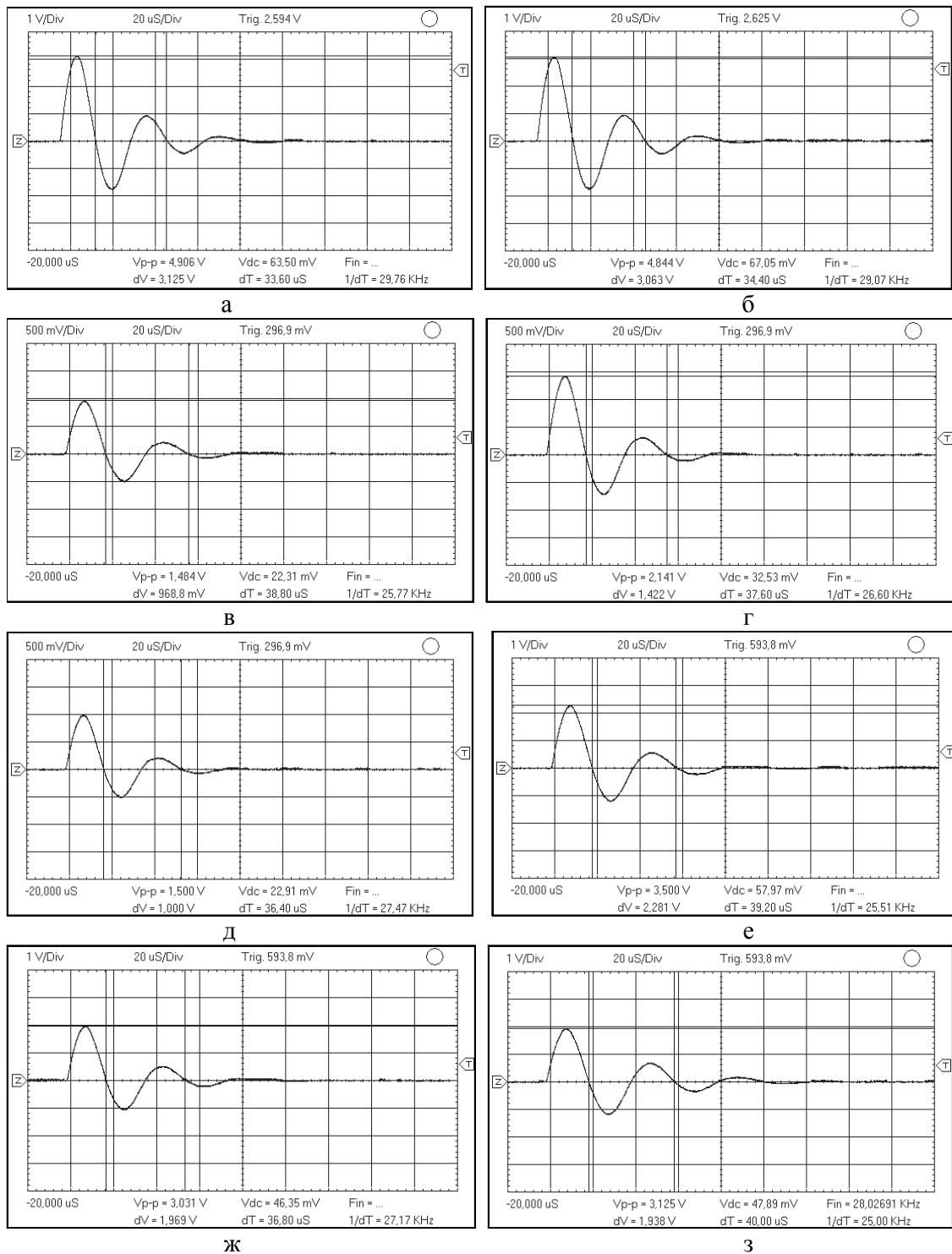


Рис. 3. Осциллограммы разрядных сигналов: а – собственный разрядный импульс комплекса; б – цилиндрический массивный индуктор, рабочая область которого в сечении имеет форму усеченного конуса; в – ИИС с тонкостенным дополнительным экраном и цилиндрическим индуктором с аксиальной симметрией индуктора (индуктор без разреза); г – ИИС с тонкостенным дополнительным экраном и цилиндрическим индуктором с разрезом; д – ИИС с тонкостенным дополнительным экраном и цилиндрическим индуктором с разрезом и подключенными параллельно основному витку дополнительными витками, противоположными экрану; е – ИИС с массивным дополнительным экраном и двухвитковым цилиндрическим индуктором; ж – ИИС с тонкостенным дополнительным экраном и двухвитковым индуктором прямоугольной формы; з – двухвитковый индуктор прямоугольной формы

Обработка осциллограмм

Параметр индуктивности L вычислялся по измеренным осциллограммам по формуле

$$L = \frac{1}{\omega^2 \cdot C}, \quad (1)$$

где $\omega = 2\pi f$ – угловая частота разрядного импульса, рад/с; C – ёмкость накопителя энергии, Ф.

Результаты обработки измеренных осциллограмм сведены в табл.1. Проведенные исследования следует прокомментировать.

Наименьшей индуктивностью обладает цилиндрический массивный индуктор, рабочая область которого в сечении имеет форму усеченного конуса (рис. 1, а). Это обусловлено конструктивными особенностями ИС.

Присоединение параллельно основному витку дополнительных витков с противоположной стороны тонкостенного экрана в ИИС приводит к уменьшению индуктивности ИС в 1,45 раза. Это согласуется с классическими физическими представлениями, в которых параллельное соединение индуктивностей в определенной системе приводит к уменьшению её суммарной индуктивности.

Наличие дополнительного экрана в ИС обуславливает повышение её индуктивности по-

чти в 2 раза, что также согласуется с классическими представлениями (индуктивность витка в свободном пространстве и индуктивность витка над проводящей плоскостью).

Наибольшей индуктивностью из исследованных ИС обладает двухвитковый индуктор прямоугольной формы (рис. 1, ж). Это объясняется тем, что конструктивно двухвитковый индуктор представляет собой последовательно соединенные два витка прямоугольной формы, а также отсутствием дополнительного экрана (проводящей плоскости).

Как известно, одним из критериев эффективности производственной операции является разница индуктивности МИУ и ИС примерно на порядок, причем ИС должна обладать меньшей индуктивностью. То есть проведенные исследования позволяют косвенно оценить эффективность представленных ИС при работе с конкретной МИУ.

Повысить эффективность выполнения производственных операций, в том числе и ремонтной операции магнитно-импульсной рихтовки, можно применяя специальные импульсные трансформаторы тока – согласующие устройства, индуктивность которых должна быть на порядок выше, чем у МИУ. Эффективное использование ИС с большой индуктивностью возможно только в сочетании со специальным согласующим устройством.

Таблица 1 Обработка экспериментальных исследований индукторов-инструментов

Исследуемое устройство	Частота сигнала f , кГц	Индуктивность L , нГн
Комплекс для имитации процессов	29,76	867
Цилиндрический массивный индуктор, рабочая область которого в сечении имеет форму усеченного конуса (рис. 1, а)	29,07	41
ИИС с тонкостенным дополнительным экраном и цилиндрическим индуктором с аксиальной симметрией индуктора (индуктор без разреза) (рис. 1, б)	25,77	289
ИИС с тонкостенным дополнительным экраном и цилиндрическим индуктором с разрезом (рис. 1, в)	26,60	218
ИИС с тонкостенным дополнительным экраном и цилиндрическим индуктором с разрезом и подключенными параллельно основному витку дополнительными витками, противоположными экрану (рис. 1, г)	27,47	150
ИИС с массивным дополнительным экраном и двухвитковым цилиндрическим индуктором (рис. 1, д)	25,51	313
ИИС с тонкостенным дополнительным экраном и двухвитковым индуктором прямоугольной формы (рис. 1, е)	27,17	173
Двухвитковый индуктор прямоугольной формы (рис. 1, ж)	25,00	362
ИИС с массивным дополнительным экраном и цилиндрическим индуктором	26,36	239

Выводы

Проведены экспериментальные исследования основного параметра – индуктивности индукторов-инструментов для магнитно-импульсных методов кузовного ремонта автотранспортных средств.

Наименьшей индуктивностью обладает цилиндрический массивный индуктор, рабочая область которого в сечении имеет форму усеченного конуса ~40 нГн. В свою очередь наибольшей индуктивностью обладает двухвитковый индуктор прямоугольной формы ~362 нГ. Данный факт обусловлен конструктивными особенностями выполнения ИС.

Повысить эффективность производственных и ремонтных операций с помощью магнитно-импульсных технологий можно применяя специальные импульсные трансформаторы тока – согласующие устройства. Их индуктивность должна быть на порядок выше, чем у МИУ, и на два порядка, чем у ИС.

Литература

1. Гнатов А.В. Анализ электродинамических процессов в цилиндрических индукторных системах – инструментах магнитно-импульсной рихтовки: монография / А. В. Гнатов. – Х.: ХНАДУ, 2013 – 292 с.
2. Кузовные работы: пособие по самостоятельному ремонту. Цветные фотографии. – Днепропетровск: Монолит, 2011. – 164 с.
3. Белый И.В. Справочник по магнитно-импульсной обработке металлов / И.В. Белый, С.М. Фертик, Л.Т. Хименко. – Х.: Вища школа, 1977. – 189 с.
4. Фізичні основи прогресивних магнітно-імпульсних технологій в виробництві та ремонті АТЗ: навч. посіб / Ю.В. Батигін, А.В. Гнатов, Є.О. Чаплигін, Щ.В. Аргунта ін. – Х.: ХНАДУ, 2013 – 336 с.
5. Гнатов А.В. Экспериментальные исследования индукторов – инструментов для МИОМ / А.В. Гнатов, Е.А. Чаплыгин // Вісник НТУ «ХП». – 2012. – № 49. – С. 79–84.
6. Langlois A.P. What magnetic forming can do / A.P. Langlois // American Machinist. – 1961. – Vol. 105, № 7 – P. 99–102.
7. Furth H.P. New ideas on magnetic forming / H.P. Furth, R.W. Waniek // Metalworking Production. – 1962. – Vol. 106, № 13. – P. 73.
8. 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. – Х.: ХНАДУ, 2009 – 240 с.
9. Экспериментальные исследования согласующих устройств для технологий магнитно-импульсной обработки металлов [Электронный ресурс] / А.В. Гнатов, И.С. Трунова // Актуальные инновационные исследования: наука и практика. – Тамбов, 2013. – № 2. – 15 с. – Режим доступа к журн.: http://actualresearch.ru/nn/2013_2/Article/science/gnatov_2013_2.htm.
10. Лаборатория электромагнитных технологий [Электронный ресурс] – 2014. – Режим доступа: <http://electromagnetic.comoj.com>.

Рецензент: Ю.В. Батыгин, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 27 февраля 2014 г.