

УДК 621.3.014

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ СИСТЕМ ДЛЯ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОГО ПРИТЯЖЕНИЯ ТОНКОСТЕННЫХ ЛИСТОВЫХ МЕТАЛЛОВ

**Ю.В. Батыгин, профессор, д.т.н., А.В. Гнатов, доцент, к.т.н.,
Г.С. Сериков, аспирант, Е.А. Чаплыгин, аспирант, ХНАДУ**

***Аннотация.** Раскрыты физические основы создания систем для магнитно-импульсного притяжения тонкостенных листовых металлов. Представлены модели практического воплощения авторских предложений.*

***Ключевые слова:** индуктор, источник мощности, индукционная индукторная система, магнитно-импульсная установка, магнитное поле.*

ФІЗИЧНІ ОСНОВИ СТВОРЕННЯ СИСТЕМ ДЛЯ МАГНІТНО-ІМПУЛЬСНОГО ТЯЖІННЯ ТОНКОСТІННИХ ЛИСТОВИХ МЕТАЛІВ

**Ю.В. Батигін, професор, д.т.н., А.В. Гнатов, доцент, к.т.н., Г.С. Серіков, аспірант,
Е.А. Чаплигін, аспірант, ХНАДУ**

***Анотація.** Розкрито фізичні основи створення систем для магнітно-імпульсного тяжіння тонкостінних листових металів. Представлено моделі практичного втілення авторських пропозицій.*

***Ключові слова:** індуктор, джерело потужності, індукційна індукторна система, магнітно-імпульсна установка, магнітне поле.*

PHYSICAL BASES OF SYSTEMS CREATION FOR MAGNETIC-IMPULSIVE ATTRACTION OF THIN-WALLED SHEET METALS

**Y. Batygin, professor, dr. eng. sc., A. Gnatov, associate professor, cand. eng. sc.,
G. Serikov, post graduate student, E. Chaplygin, post graduate student, KhNADU**

***Abstract.** The work is dedicated to the physical base of systems creating for the thin-walled sheet metals magnetic pulse attraction. Some practical realization models of the author's suggestions are represented.*

***Key words:** inductor, power source, induction inductor system, magnetic-impulse plant, magnetic field.*

Введение

Практическая направленность магнитно-импульсного притяжения листовых металлов – это формовка корпусных элементов автомо-

билей и самолётов, а также внешняя рихтовка вмятин без нарушения защитного покрытия [1 – 4]. Как показали исследования ведущих фирм мира (США, Германия):

- формовка корпусных элементов из современных сплавов возможна исключительно при направленном силовом импульсном воздействии, когда металл переходит в так называемое состояние «гиперпластичности»;
- толщина кузовных элементов современных автомобилей, выполненных из различных сталей и алюминиевых сплавов, как правило, не превышает 1 мм;
- механическая прочность автомобильных кузовов обеспечивается рёбрами жёсткости с внутренней стороны, где также располагаются компоненты электрических и электронных сервисных систем;
- «гиперпластичность», внешняя рихтовка вмятин корпусных элементов (затруднённый или невозможный доступ изнутри), сохранение заводского защитного покрытия – это проблемы, решаемые с помощью магнитно-импульсных систем.

Анализ публикаций

Современные мировые достижения по магнитно-импульсному притяжению тонкостенных листовых металлов [2, 3, 5, 10]:

1. США: «Boeing», «Electroimpact», «Fluxtronic» (рис. 1). Принцип действия – суперпозиция магнитных полей с разными рабочими частотами, техническая реализация – двухчастотная магнитно-импульсная система, недостатки – два источника мощности, сложная сильноточная электроника, высокая цена.

а



б

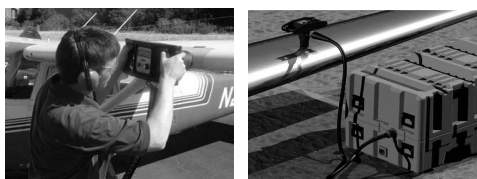


Рис. 1. Внешнее устранение вмятин в корпусных элементах самолётов: а – «Boeing», «Electroimpact»; б – «Fluxtronic»

2. Концерн «Beulentechnik AG»: Швейцария, Германия, Швеция, Чехия (специализация – авторемонт и разработка соответствующих устройств). Принцип действия – естественное притяжение ферромагнитных металлов при понижении рабочей частоты действующего поля – эффект, обнаруженный и зафиксированный в НТУ «ХПИ» проф. Батыгиным Ю.В., Лавинским В.И., Хименко Л.Т. в 2004 г. Техническая реализация – одночастотная магнитно-импульсная система – МИС (фирма «Тесла»), недостатки – заложены устаревшие представления и результаты работ 2002 – 2004 гг., ограниченность области применения (в частности, только сталь). Иллюстрации практических реализаций представлены на рис. 2 [10].

а



б

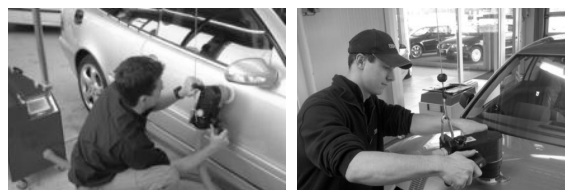


Рис. 2. Магнитно-импульсная система и внешняя рихтовка вмятин: а – МИС («Тесла»); б – внешняя рихтовка вмятин в автомобильных кузовах

Цель и постановка задачи

Цель – раскрытие физических основ создания систем для магнитно-импульсного притяжения тонкостенных листовых металлов и представление авторских практических воплощений данных систем.

Физические основы создания систем для магнитно-импульсного притяжения тонкостенных листовых металлов

ИНСТРУМЕНТ

1. Закон Ампера о силовом взаимодействии проводников с токами. Схема реализации приведена на рис. 3. Принципиальная сущность – проводники с одинаково направлен-

ными токами притягиваются [1, 5]. Техническая реализация:

– одновитковый индуктор-источник магнитного поля располагается между дополнительным вспомогательным экраном и тонкостенным листом металла;

– токи, индуцированные в экране и металлическом листе, возбуждают силы Лоренца – силы взаимного притяжения;

– вспомогательный экран зафиксирован, листовой металл притягивается к индуктору.

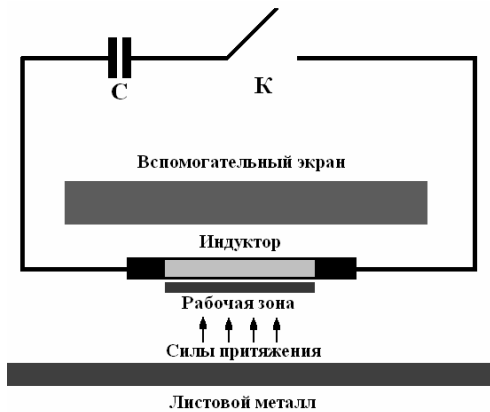


Рис. 3. Индукционная индукторная система

Примечание. Работоспособна как с немагнитными, так и с магнитными металлами.

1. Эффект притяжения ферромагнетика при понижении рабочей частоты (обнаружен проф. Батыгиным Ю.В., Лавинским В.И., Хименко Л.Т. в 2004 г.). Схема реализации приведена на рис. 4.

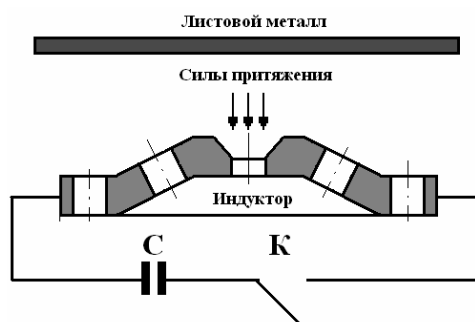


Рис. 4. Одновитковый индуктор с внутренним отверстием конической формы

Принципиальная сущность – при понижении рабочей частоты осцилляция сил отталкивания во времени приводит к существенному падению их интегрального действия (в идеале $\rightarrow 0$), в то же время резко возрастают си-

лы притяжения, обусловленные магнитными свойствами обрабатываемого объекта, и, как показали теория и эксперимент, при частоте до ~ 4 кГц и величине относительной магнитной проницаемости $\sim 2,5$ (теор. оценка) листовой металл притягивается к индуктору. Техническая реализация: одновитковый индуктор-источник магнитного поля, работающий на пониженных частотах ~ 2 кГц.

Примечание. Наибольшая эффективность притяжения имела место, когда внутреннее окно индуктора имело форму усеченного конуса, обращенного большим основанием к листовой заготовке. Листовой металл, расположенный на рабочей поверхности индуктора, притягивается в области его внутреннего окна.

ИСТОЧНИК МОЩНОСТИ (магнитно-импульсная установка)

1. Отличительные признаки:

- работа от сети ~ 220 В;
- низкие значения рабочих напряжений на емкостном накопителе (до $\sim 1 \dots 2$ кВ);
- многократное силовое воздействие на обрабатываемый объект.

Количество импульсов давления задаётся заранее.

2. «Диаграмма растяжения» как качественная иллюстрация процесса многократного силового воздействия представлена на рис. 5.

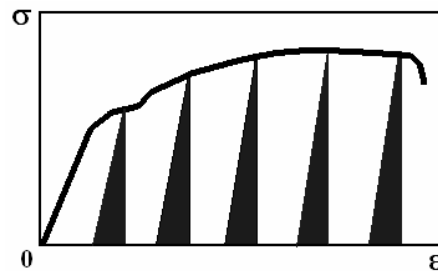


Рис. 5. Диаграмма растяжения

Примечание. Принцип многократного (но не регулируемого) силового воздействия применяется в установках фирм «Elektroimpakt», «Fluxtronic» (США).

Что есть в практическом воплощении авторских предложений?

ИНСТРУМЕНТЫ

1. Индукторные системы для притяжения ферромагнетиков представлены на рис. 6 и рис. 7 [1, 6, 10].



Рис. 6. Одновитковый индуктор с внутренним отверстием конического профиля

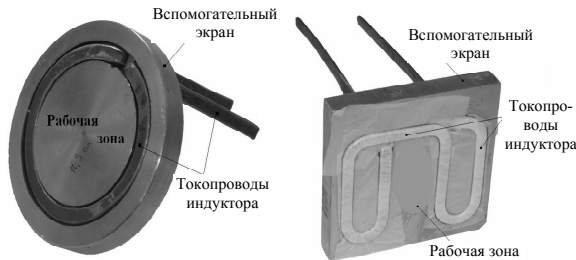


Рис. 7. Цилиндрическая индукционная индукторная система (слева) и индукционная индукторная система с двойным прямоугольным витком (справа)

ИСТОЧНИК МОЩНОСТИ

Магнитно-импульсная установка – МИУС-2 (рис. 8), имеет следующие технические характеристики [7 – 9]:

- работа от сети ~ 220 В;
- зарядное напряжение до 2 кВ, запасаемая энергия до 2 кДж;
- собственная частота ~ 10 кГц, в комплекте с согласующим устройством ~ 1–2 кГц;
- частота повторения разрядных импульсов до ~ 10 Гц.

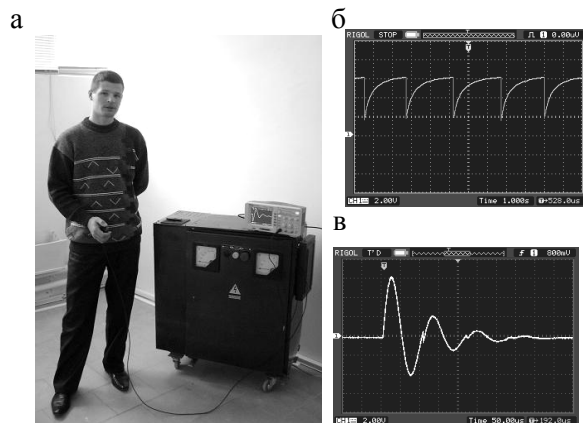


Рис. 8. Магнитно-импульсная установка МИУС-2 и рабочие характеристики: а – собственно МИУС-2; б – осциллограмма зарядного напряжения; в – осциллограмма разрядного тока

Выводы

Анализ современных мировых достижений по магнитно-импульсному притяжению тонкостенных листовых металлов показывает, что ведущее место в этой области технологий занимают фирмы США и Европы. Разработки первых направлены на восстановление вмятин в корпусах самолётов, направленность европейских фирм – внешняя рихтовка автомобильных кузовов.

Представленные авторские предложения использования электрофизических эффектов для создания эффективных инструментов магнитно-импульсного притяжения заданных участков листовых металлов (силовое взаимодействие индуцированных токов плюс притяжение ферромагнитных сталей) открывают исключительные возможности в области разработки прогрессивных полевых технологий, позволяющих бесконтактное силовое воздействие на обрабатываемый объект с сохранением имеющегося защитного покрытия.

Переход от мощного единичного воздействия, принятого в традиционных магнитно-импульсных технологиях, к многократному силовому воздействию на обрабатываемый объект, то есть использование кумулятивного эффекта, позволяет контролировать процесс обработки и дозировать величины развиваемых сил магнитного давления-притяжения.

Немаловажным достоинством использования кумулятивного эффекта при магнитно-импульсной обработке металлов является возможность создания портативных источников мощности, работающих от сети с напряжением ~ 220 В.

Литература

1. Батыгин Ю.В., Гнатов А.В. Расчет электродинамических усилий в индукционной индукторной системе с неферромагнитными массивным экраном и листовой заготовкой // *Электротехника і електромеханіка.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2009. – №4. – С. 56–59.
2. Батыгин Ю.В., Импульсные магнитные поля для прогрессивных технологий // *Винахідник та раціоналізатор.* – К.: Техніка. – 2007. – №5. – С.8–11.

3. Бажинов А.В., Батыгин Ю.В., Чаплыгин Е.А., Использование энергии импульсных магнитных полей в автомобильной промышленности // Автомобильный транспорт: сб. научных трудов. – Харьков: ХНАДУ. – 2005.– Вып. 16.– С. 349 – 353.
4. Батыгин Ю.В., Сериков Г.С., Чаплыгин Е.А. Реализация и перспективы магнитно-импульсных методов в развитии передовых технологий современности // Автомобильный транспорт: сб. научных трудов. – Харьков: ХНАДУ. – 2006. – Вып. 18. – С. 83–88.
5. Батыгин Ю.В., Лавинский В.И., Бажинов А.В. Магнитно-импульсные методы и системы для притяжения тонкостенных листовых металлов // Труды международной научно-технической конференции «Магнитно-импульсная обработка металлов. Пути совершенствования и развития». – Самара: СГАУ: Изд-во учебной литературы, 18–19 сентября 2007. – С. 3–13.
6. Батыгин Ю.В., Воробьев Д.А. Магнитное поле одновиткового индуктора с внутренним отверстием конического профиля // Электротехника і електромеханіка. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2008. – №4. – С.63–64.
7. Батигін Ю.В., Бондаренко О.Ю., Чаплигін Є.О. Спосіб магнітно-імпульсної обробки металевих заготовок методом притягання до індуктора. Патент України на корисну модель №31751. 25.04.2008. Бюл. №8, 2008.
8. Батигін Ю.В., Бондаренко О.Ю., Сериков Г.С. Спосіб магнітно-імпульсної обробки металевих заготовок. Патент України на корисну модель №31752. 25.04.2008. Бюл. №8, 2008.
9. Батигін Ю.В., Бондаренко О.Ю., Лавинський В.И., Хавін В.Л. Установка для магнітно-імпульсної обробки металів серією імпульсів. Патент України на корисну модель №29175. 10.01.2008. Бюл. №1.
10. Туренко А.Н., Батыгин Ю.В., Гнатов А.В. Импульсные магнитные поля для прогрессивных технологий. – Том 3. Теория и эксперимент притяжения тонкостенных металлов импульсными магнитными полями: Монография. – Харьков: ХНАДУ, 2009. – 240 с.

Рецензент: А.В. Бажинов, профессор д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 24 сентября 2009 г.
