

МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ БЕСКОНТАКТНОЙ РИХТОВКИ КОРПУСНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Гнатов А.В.

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

В рамках статьи проведено обоснование актуальности применения магнитно-импульсных технологий на транспорте. Представлены экспериментальные исследования и практическая апробация новых авторских предложений по внешней бесконтактной магнитно-импульсной рихтовке корпусных элементов транспортных средств. Практически подтверждена принципиальная действенность и эффективность магнитно-импульсных методов обработки тонкостенных металлов.

Ключевые слова: магнитно-импульсная обработка металлов, магнитно-импульсная установка, бесконтактная рихтовка, удаление вмятин, индуктор.

Введение. В настоящее время все большим спросом пользуются операции по реставрации корпусных и кузовных элементов транспортных средств. Причём, до 80% повреждений приходится на небольшие и средние повреждения. Половина из них – это вмятины, не требующие замены всего элемента и устраняемые рихтовкой. Более 50% таких повреждений составляют зоны с затрудненным или полностью закрытым обратным доступом. В этой связи особый интерес представляют устройства, позволяющие произвести, так называемую, внешнюю рихтовку без разборки корпуса (кузова) и нарушения существующего защитного покрытия [1].

Актуальность исследований. Фирмой Beulentechnik AG (Швейцария) [2] предложены механические способы внешней рихтовки вмятин в автомобильных кузовах. Однако их практическое осуществление требует очень высокой квалификации исполнителя и не обладает достаточной надёжностью с точки зрения сохранности ремонтируемого элемента. Наиболее реальными для практики представляются разработки магнитно-импульсных комплексов для внешней рихтовки корпусов самолётов, проводимые на протяжении последних 35...40 лет фирмами Boeing и Electroimpact (США) [3]. Физическая сущность предложений сводится к суперпозиции «медленного» и «быстрого» магнитных полей. Для практической реализации данного предложения необходимы два источника электромагнитной энергии, достаточно сложные высоковольтные системы управления и синхронизации генерируемых токовых импульсов. Эти факты существенно снижают надёжность работы комплекса для устранения вмятин в целом и значительно увеличивают его стоимость.

Поэтому, задача по разработке и созданию комплекса для внешней бесконтактной рихтовки транспортных средств является весьма актуальной и значимой.

Цель работы. Обоснование перспективности применения магнитно-импульсных технологий на транспорте. Экспериментальные исследования с практической апробацией новых авторских предложений по магнитно-импульсной бесконтактной рихтовке поврежденных элементов корпусных и кузовных конструкций транспортных средств.

Описание технологии бесконтактного магнитно-импульсного удаления вмятин с листового металла. Энергетический блок (источник мощности) работающий от сети ~ 220/380 В. Управление работой комплекса осуществляется приборами контроля и управления (система управления). Инструмент, посредством которого оператор выполняет бесконтактное восстановление поврежденной металлической поверхности, соединен с энергетическим блоком гибким кабелем (рис. 1.).

Преимущества предлагаемой технологии.

1. Экологическая чистота и ресурсосбережение по сравнению с традиционными (механическими, химическими и пр.) технологиями.

2. Отсутствие непосредственного контакта с обрабатываемым материалом.
3. Бесконтактное удаление вмятин с кузовов транспортных средств без их разборки и демонтажа с возможным сохранением защитного покрытия.
4. Возможна работа с любыми металлами (сталь, алюминий).
5. Себестоимость оборудования в несколько раз меньше существующих аналогов.
6. Возможна работа, как в однократном, так и в серийном режиме.
7. Управляемость процессом рихтовки.
8. Возможность использования для других технологических операций (образование заданных деформаций в листовом металле).
9. Полная защищенность инновационных разработок и технических решений документами интеллектуальной собственности.
10. Способствует улучшению социально-экономического развития региона и увеличивает его интеллектуальный и технический потенциал.
11. Создает дополнительные рабочие места.

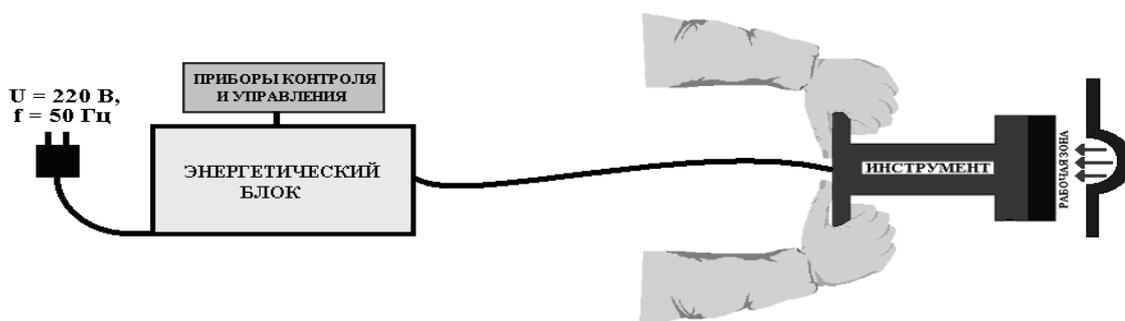


Рисунок 1 – Структурная схема магнитно-импульсного рихтовщика

Результаты исследований. В процессе настоящих исследований был проведен мониторинг рынка, который показал, что в настоящее время, как в Украине, так и в странах СНГ аналогов предлагаемого комплекса нет. Соответственно и отсутствует конкуренция в данном сегменте рынка в этих странах.

В странах западной Европы и в США аналоги существуют, но они уступают техническими характеристиками, стоимостью, и основанные на другом принципе действия, что значительно ограничивает область их применения. В табл.1 проведено сравнение важных конкурентных характеристик разработанного комплекса.

Таблица 1 – Таблица конкуренции

<i>Важные Характеристики</i>	<i>Лаборатория электромагнитных технологий</i>	<i>Boeing, Electroimpact, Fluxtronic</i>	<i>Beulentechnik AG</i>
Количество источников	один	два	один
Область применения	любой металл	алюминиевые сплавы	только сталь
Количество разрядных импульсов	один - серия	серия	один
Ориентировочная цена комплекса, тыс. \$	~15	~ 200	~ 40

Возможные конкуренты:

1. США – фирмы «Boeing», «Electroimpact», «Fluxtronic». Недостатки их систем: наличие двух источников энергии; сложность необходимой сильно-токовой электроники и большие затраты на комплектующие; низкая надежность в эксплуатации, высокая себестоимость.

2. Европа – концерн «Beulentechnik AG». Недостатки их систем: сложный и не технологичный в изготовлении инструмент – многовитковая катушка, является

недолговечной в эксплуатации, возможность работы только с ферромагнетиками (сталь), ограничен принцип действия.

Аналоги предлагаемого комплекса выпускают фирмы Boeing, Electroimpact, Fluxtronic, но их стоимость (~ 200 тыс. \$) сдерживают другие фирмы по приобретению данных комплексов. Но, следует отметить, что все остальные авиапроизводители осуществляют постоянный мониторинг цен на данную продукцию.

Аналогичная ситуация наблюдается и с фирмами, организациями и предприятиями, деятельность которых связана с обслуживанием, ремонтом и восстановлением автотранспортной техники. Монополия фирмы Veulentechnik AG в ценообразующей политике на аналогичную продукцию, создала достаточно высокую ее стоимость (см. табл.1.).

Указанные причины обуславливают весьма малое распространение и внедрение в производственную и обслуживающую отрасли транспортной техники данного вида продукции.

Немаловажным фактором в конкурентоспособности рассматриваемого комплекса является его приоритет по техническим решениям, который обеспечен соответствующей патентной документацией [4-21].

Целевой сегмент рынка. Разработки, проводимые коллективом лаборатории электромагнитных технологий, актуальны и необходимы:

- производственным предприятиям и фирмам, специализирующимся на разработке, внедрении и широком применении прогрессивных технологий внешней рихтовки корпусных и кузовных конструкций транспортных средств;
- промышленным предприятиям и фирмам с производственными процессами, включающими формовку или штамповку металлических изделий из листового металла.

Авторские предложения лаборатории электромагнитных технологий.

1. Создание источников мощности (рис. 2.) – применение схем электронного управления зарядно-разрядными процессами, позволяющими осуществлять непрерывное генерирование разрядных импульсов в индуктор-инструмент.

2. Создание инструментов (рис. 3):

- индукционные индукторные системы (работа с алюминием и его сплавами).
- одновитковые индукторные системы (работа с различными сталями).
- комбинированные системы (работа с любыми металлами).

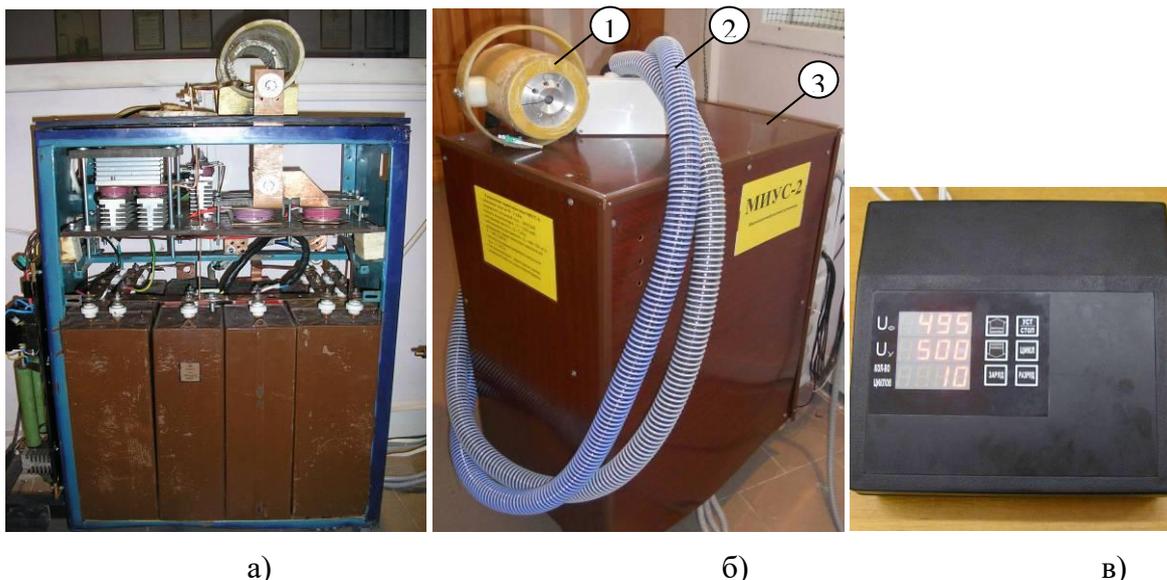


Рисунок 2 – Экспериментальный комплекс для бесконтактной магнитно-импульсной рихтовки: а – без защитного кожуха; б – внешний вид; в – пульт управления: 1 – инструмент магнитно-импульсного воздействия; 2 – кабельный подвод; 3 – магнитно-импульсная установка МИУС-2

Экспериментальные исследования проводились на экспериментальном комплексе для бесконтактной магнитно-импульсной рихтовки, созданном на базе магнитно-импульсной установки МИУС-2, разработанной в лаборатории электромагнитных технологий ХНАДУ (рис. 2) [22-25].

Технические характеристики комплекса:

- запасаемая энергия $W \sim 2$ кДж;
- напряжение питающей сети $\sim 380/220$ В.
- ёмкость конденсаторов – $C = 1200$ мкФ;
- собственная частота – $f_0 \sim 7$ кГц;
- собственная индуктивность – $L \sim 440 \div 500$ нГн;
- напряжение заряда емкостных накопителей $U \sim 100 \div 2100$ В;
- частота следования разрядных импульсов $f_{\text{имп}} \sim 1 \div 10$ Гц;
- тип коммутаторов – тиристорные ключи;
- режим работы:

а) апериодический (разрядный импульс униполярной формы);

б) колебательный (разрядный импульс – затухающая синусоида).

Разработанные индукторные системы.



Рисунок 3 – Индукторные системы: а – с массивным дополнительным экраном и цилиндрическим индуктором; б – с тонкостенным дополнительным экраном и цилиндрическим индуктором; в – с тонкостенным дополнительным экраном и индуктором прямоугольной формы; г – индуктор, рабочая область которого в сечении имеет форму усеченного конуса; д – с массивным дополнительным экраном и двухвитковым цилиндрическим индуктором

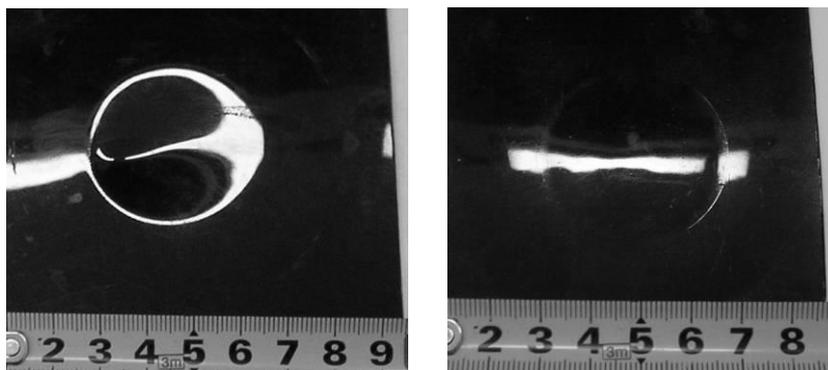
Результаты экспериментальных исследований. В ходе экспериментов было исследовано кабельное подключение МИУС-2 к инструменту магнитно-импульсного воздействия. Последний в себя включал – цилиндрическое согласующее устройство (импульсный трансформатор тока) и подсоединенный к нему массивный индуктор, рабочая область которого в сечении имеет форму усеченного конуса (рис. 3, г) [26].

Условия эксперимента:

- частота следования импульсов – 9 Гц;
- количество импульсов – 20;

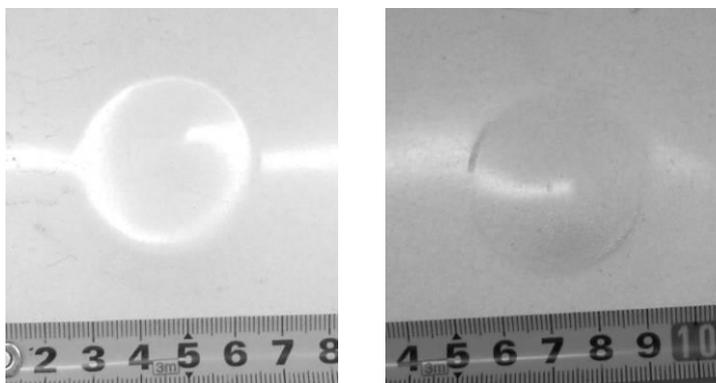
- аperiodический режим работы установки, рабочая частота тока в импульсе ~ 2 кГц;
- напряжение на емкостном накопителе – 1800 В;
- амплитуда тока в разрядном контуре – 18 кА;
- амплитуда тока собственно в индукторе – 90 кА;
- запасаемая энергия – 1,5 кДж.

Для проведения эксперимента были взяты образцы обшивки кузова автомобиля фирмы «Субару» толщиной $\sim 0,8$ мм и «Ситроен» толщиной ~ 1 мм. В ходе эксперимента, сначала, с помощью созданного комплекса были получены деформации (вмятины) на взятых образцах обшивки кузова автомобиля (рис. 4а, 5а). Потом, эти образцы перевернули так, чтобы центр образовавшейся лунки совпал с центром отверстия индуктора, и произвели втягивание уже существующей лунки в поверхность (рис. 4б, 5б).



а) б)

Рисунок 4 – Фрагмент обшивки кузова автомобиля «Субару»: а – создание вмятины; б – удаление вмятины



а) б)

Рисунок 5 – Фрагмент обшивки кузова автомобиля «Ситроен»: а – создание вмятины; б – удаление вмятины

Поперечные размеры полученных вмятин соответствовали размерам рабочей зоны индуктора ~ 40 мм. Их глубина составляла $\sim 1,2 \dots 1,5$ мм. Различия в глубине полученных вмятин, несмотря на идентичность в условиях проведенных экспериментов, можно объяснить вероятными различиями электрофизических и механических характеристик сталей разных производителей.

Выводы.

1. На основании анализа мировых тенденций развития современных промышленных технологий показана всё возрастающая актуальность и перспективность направления магнитно-импульсной обработки металлов, связанная с притяжением заданных участков проводящих объектов.

2. Представлены авторские разработки, как источников мощности, так и инструментов магнитно-импульсного воздействия, позволяющие производить удаление вмятин с кузовных конструкций автомобилей.

3. Проведена экспериментальная апробация разработанных инструментов, на практике подтверждена их принципиальная действенность и эффективность.

4. Разработан и экспериментально апробирован комплекс для бесконтактной магнитно-импульсной рихтовки корпусных элементов транспортных средств.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Туренко А. Н. Импульсные магнитные поля для прогрессивных технологий. Том 3. Теория и эксперимент притяжения тонкостенных металлов импульсными магнитными полями : монографія / А. Н.Туренко, Ю. В. Батыгин, А. В. Гнатов – Харьков : ХНАДУ, 2009. – 240 с.

2. Welcome to BETAG Innovation [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.beulentech.com

3. Electromagnetic Dent Removal [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.electroimpact.com/EMAGDR/overview.asp>.

4. Лаборатория электромагнитных технологий [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://electromagnetic.comoj.com>.

5. Пат. України №74909, 2006. Спосіб магнітно-імпульсної обробки металевих заготовок.

6. Пат. України №75676, 2006. Спосіб магнітно-імпульсної обробки металевих заготовок.

7. Пат. України №31309, 2008. Індуктор для магнітно-імпульсного формування кутів у вигнутих листових металевих заготовках.

8. Пат. України №31751, 2008. Спосіб магнітно-імпульсної обробки металевих заготовок методом притягання до індуктора.

9. Пат. України №31752, 2008. Спосіб магнітно-імпульсної обробки металевих заготовок.

10. Пат. України №29175, 2008. Установка для магнітно-імпульсної обробки металів серією імпульсів.

11. Пат. України №84925, 2008. Спосіб магнітно-імпульсної обробки металевих заготовок.

12. Пат. України №45131, 2009. Спосіб магнітно-імпульсної обробки металевих заготовок.

13. Пат. України №44933, 2009. Генератор багаторазових імпульсів струму для магнітно-імпульсної обробки металів.

14. Пат. України №53968, 2010. Спосіб магнітно-імпульсного притягання металевих об'єктів прямокутним індуктором, з двома розрізами.

15. Пат. України №53969, 2010. Узгоджувальний пристрій-циліндричний з двома співвісними вторинними витками.

16. Пат. України №61008, 2011. Генератор багаторазових імпульсів струму для магнітно-імпульсної обробки металів з розгалуженим колом комутуючих пристроїв.

17. Пат. України №61417, 2011. Генератор багатократних імпульсів струму для обробки металів тиском імпульсного магнітного поля.

18. Пат. України №68745, 2012. Спосіб магнітно-імпульсної обробки тонкостінних металевих заготовок.

19. Пат. України №69467, 2012. Спосіб магнітно-імпульсної обробки тонкостінних металевих заготовок з використанням узгоджувального пристрою.

20. Пат. України №70055, 2012. Спосіб магнітно-імпульсного притягання металевих об'єктів одновитковою індукторною системою з тонким екраном.

21. Пат. України №70734, 2012. Спосіб магнітно-імпульсного притягання металевих об'єктів двовитковою круговою індукторною системою з тонким екраном.

22. Батыгин Ю. В. Экспериментальные исследования магнитно-импульсного притяжения тонкостенных листовых металлов / [Ю. В. Батыгин, С. Ф. Головащенко, А. В. Гнатов, Д. О. Смирнов] // Електротехніка і електромеханіка. – Харків, 2010. – №3. – С. 39-41.

23. Батыгин Ю. В. Эксперименты магнитно-импульсного притяжения тонкостенных металлов при низких частотах действующих полей / [Ю. В. Батыгин, А. В. Гнатов, С. А. Щиголева, Е. Ф. Еремина] // Електротехніка і електромеханіка. – Харків, 2011. – №6. – С. 64-66.

24. Батыгин Ю. В. Притяжение тонкостенных металлических листов магнитным полем одновиткового индуктора / Ю. В. Батыгин, А. В. Гнатов, С. А. Щиголева // Електричество. – М., 2011. – №4. – С. 55-62.

25. Магнитно-импульсное притяжение листовых металлов – перспективное направление в развитии электромагнитной штамповки / Ю. В. Батыгин, А. В. Гнатов // XI Міжнародна науково-технічна конференція [«Проблеми сучасної електротехніки – 2010»], (Київ 1-3 червня, 2010 р.) – К. : Технічна електродинаміка, Тематичний випуск, 2010. – Ч. 1. – С. 175-180.

26. Экспериментальные исследования согласующих устройств – импульсных трансформаторов тока, в бесконтактной рихтовке транспортных средств / А. В. Гнатов, Щ. В. Аргун, И. С. Трунова. // Міжнародна науково-технічна конференція [«Науково-прикладні аспекти автомобільної галузі»], (Луцьк, 2012 р.) – Наукові нотатки. – Луцьк, 2012. – В. 36. – С. 53-57.

Гнатов А.В. МАГНІТНО-ІМПУЛЬСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ БЕЗКОНТАКТНОГО РИХТУВАННЯ КОРПУСНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

У рамках статті проведено обґрунтування актуальності застосування магнітно-імпульсних технологій на транспорті. Представлені експериментальні дослідження та практична апробація нових авторських пропозицій щодо зовнішнього безконтактного магнітно-імпульсного рихтування корпусних елементів транспортних засобів. Практично підтверджена принципова дієвість і ефективність магнітно-імпульсних методів обробки тонкостінних металів.

Ключові слова: магнітно-імпульсна обробка металів, магнітно-імпульсна установка, безконтактне рихтування, видалення вм'ятин, індуктор.

Hnatov A.V. MAGNETIC PULSE TECHNOLOGIES FOR NON-CONTACT STRAIGHTENING OF CAR BODY ELEMENTS

The actuality of magnetic-pulse technologies using on vehicles has been carried out in this article. Experimental researches and practical approbation of new author's proposals on external non-contact magnetic-pulse straightening of car body elements has been presented. The principle functionality and efficiency of magnetic-pulse working methods of thin-walled metals was practically confirm.

Keywords: magnetic pulse metal working, magnetic pulse installation, non-contact straightening, dents removing, inductor.