

УДК 621.318

## ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ НОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ ВНЕШНЕЙ РИХТОВКИ КУЗОВНЫХ ПАНЕЛЕЙ АВТОМОБИЛЕЙ

А.В. Гнатов, проф., д.т.н.,  
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

*Аннотация.* В рамках статьи определена область применения новой технологии внешней бесконтактной магнитно-импульсной рихтовки кузовных панелей автомобилей с использованием энергии импульсных магнитных полей. Проведен анализ альтернативных методов удаления вмятин с листовых металлов. Представлен классификатор вмятин для новой технологии внешней рихтовки кузовных панелей.

*Ключевые слова:* внешняя рихтовка, удаление вмятин, кузовной ремонт, магнитно-импульсная обработка металлов, кузовная панель.

## ГАЛУЗЬ ЗАСТОСУВАННЯ НОВОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ЗОВНІШНЬОГО РИХТУВАННЯ КУЗОВНИХ ПАНЕЛЕЙ АВТОМОБІЛІВ

А.В. Гнатов, проф., д.т.н.,  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

*Анотація.* У рамках статті визначено галузь застосування нової технології зовнішнього безконтактного магнітно-імпульсного рихтування кузовних панелей автомобілів із використанням енергії імпульсних магнітних полів. Проведено аналіз альтернативних методів видалення вмятин із листових металів. Подано класифікатор вмятин для нової технології зовнішнього рихтування кузовних панелей.

*Ключові слова:* зовнішнє рихтування, видалення вмятин, кузовний ремонт, магнітно-імпульсна обробка металів, кузовна панель.

## AREA OF APPLICATION OF THE NEW TECHNOLOGY OF CAR BODY PANELS EXTERNAL STRAIGHTENING

A. Hnatov, Prof., D. Sc. (Eng.),  
Kharkiv National Automobile and Highway University

*Abstract.* The area of application of the new technology of external non-contact magnetic-pulse straightening of car body panels, using the energy of pulsed magnetic fields is determined in the given article. Analysis of alternative methods of sheet metal dent repair has been conducted. The dent classifier for the new technology of external car body panel straightening is presented.

*Key words:* external straightening, removing dents, body repair, magnetic-pulse metal working, car body panels.

### Введение

Исследования, проведенные в данной работе, вызваны насущными потребностями, которые возникли при выполнении ремонтных работах современных автомобилей. Особен-

но актуально это проявилось при рихтовке кузовных панелей, т.к. больше половины рихтовочных работ необходимо проводить, когда защитное лакокрасочное покрытие не повреждено. Современные методы и способы рихтовки не удовлетворяют требованиям и

запросам, предъявляемым к данному виду технологических операций [1–3].

### Анализ публикаций

Также следует отметить и наличие иных, альтернативных по отношению к магнитно-импульсному, методов удаления вмятин с листовых металлов. Так, фирмой Beulentechnik AG [4] предложены механические способы внешней рихтовки вмятин автомобильных кузовов. Однако их практическое осуществление требует очень высокой квалификации исполнителя и не обладает достаточной надёжностью с точки зрения сохранности ремонтируемого элемента.

Американскими инженерами предложен целый ряд альтернативных способов удаления вмятин с металлических конструкций. Например, в патентах [5, 6] описан способ удаления вмятин с помощью магнита (электромагнита). Суть данного способа заключается в том, что к месту с вмятиной на металле подносят магнит (электромагнит), а с противоположной стороны, то есть с обратной стороны поврежденного участка листового металла, подносят металлический объект (шарик, ролик, массивную металлическую подложку), который обладает хорошими магнитными свойствами. Магнит, притягивая металлический объект, удаляет вмятину. В патенте [7] предложен комплекс по удалению вмятин с кузовов автомобилей, в основу которого положено совмещение гидравлики с электромагнитом. В патенте [8] описан пневматический способ и оборудование для удаления вмятин с кузовов автомобилей. Вакуумный способ удаления вмятин описан в патенте [9]. В монографии [10] описывается способ удаления вмятин с помощью интенсивного нагрева с последующим резким охлаждением участка, где находится вмятина. Авторы монографии [11] описывают способ прямого пропускания тока через обрабатываемый металл, принцип действия которого основан на взаимодействии параллельных проводников с токами (закон Ампера). В результате проводники с одинаково направленными токами притягиваются друг к другу, что и лежит в основе устранения деформаций. Общим недостатком перечисленных методов является то, что защитное лакокрасочное покрытие кузовной панели в процессе такой рихтовки повреждается. Также большая часть из перечисленных методов

предполагает доступ к поврежденному участку кузовной панели с противоположной стороны, т.е. требует разборки и демонтажа кузовных элементов.

Проведенный анализ показал, что альтернативные методы удаления вмятин с листовых металлов явно уступают в преимуществах магнитно-импульсным методам. Следовательно, возникает потребность в определении области применения предложенной лабораторией электромагнитных технологий ХНАДУ новой технологии кузовного ремонта автомобилей с использованием энергии импульсных магнитных полей.

### Цель и постановка задачи

Целью данной работы является определение области применения новой технологии внешней бесконтактной магнитно-импульсной рихтовки кузовных панелей автомобилей с использованием энергии импульсных магнитных полей.

### Область применения

Для определения области применения рассматриваемой новой технологии кузовного ремонта автомобилей прежде всего следует определиться с техническими характеристиками металлов кузовных панелей современных автомобилей.

Для производства кузовных элементов современных автомобилей используется несколько наиболее распространенных марок листового малоуглеродистой стали. В странах СНГ это: 08Ю, 08КП, 08ГС; в странах дальнего зарубежья – ВН210, IF, ВН240, А619, К00040, DP. Толщина кузовных панелей автомобилей зависит как от места её положения на кузове авто, так и от используемой марки стали, а также от технических условий производителя. На данный момент этот параметр варьируется в пределах 0,6–1,5 мм. Для большей наглядности ниже приведена наиболее распространенная схема толщин кузовных панелей современных автомобилей [12–15].

Детали кузова штампуются из листового малоуглеродистой холоднокатанной стали:

- для наружных панелей – 0,7 мм;
- для переднего пола и крыши – 0,9 мм;
- для брызговиков «передка», арок заднего колеса, лонжеронов, поперечин пола – 1,0 мм;

- для сильно нагруженных деталей (передние лонжероны, центральные стойки) – 1,5 мм;
- различные мелкие детали штампуются из листа толщиной 0,8–2,5 мм.

Следует отметить, что современный автопром активно использует и прочные алюминиевые сплавы типа АА 5182, которые при аналогичных толщинах обладают большей прочностью и меньшей массой.



Рис. 1. Комплекс внешней бесконтактной магнитно-импульсной рихтовки (слева), рихтовка кузовной панели (справа)

Электротехнические характеристики комплекса, представленного на рис. 1:

- запасаемая энергия  $W \approx 2$  кДж;
- напряжение питающей сети – 380/220В;
- ёмкость конденсаторов  $C = 1200$  мкФ;
- собственная частота  $f_0 \approx 7$  кГц;
- собственная индуктивность  $L \approx 440–500$  нГн;
- напряжение заряда емкостных накопителей  $U \approx 100–2100$  В;
- частота следования разрядных импульсов  $f_{\text{имп}} \approx 1–10$  Гц;
- тип коммутаторов – тиристорные ключи;
- режим работы:
  - а) апериодический (разрядный импульс униполярной формы);
  - б) колебательный (разрядный импульс – затухающая синусоида).

Основным преимуществом новой технологии и оборудования, обеспечивающего её реализацию, является то, что операция рихтовки

Рассматриваемое в настоящей работе оборудование для внешней бесконтактной магнитно-импульсной рихтовки (рис. 1) рассчитывалось на выше приведенные характеристики марок кузовной стали. Этим и обусловлен выбор как электротехнических параметров разрабатываемого оборудования, так и электромагнитных и геометрических характеристик обрабатываемого металла.

производится с внешней стороны поврежденной кузовной панели автомобиля без её разборки и демонтажа [16]. Сама же операция длится от нескольких секунд до нескольких минут, в зависимости от формы вмятины, её расположения и геометрических размеров. Ход операции и её технологический маршрут определяется обозначенными параметрами вмятины на кузовной панели, что и требует задаться некой классификацией рихтуемых вмятин. Этим и определяется область применения рассматриваемой технологии.

В соответствии с проведенными теоретическими и экспериментальными исследованиями, анализом источников [1–15, 17–19], а также накопленной статистикой при практической апробации и эксплуатации инструментов для внешней бесконтактной магнитно-импульсной рихтовки, следует выделить три основных вида вмятин, которые могут

быть удалены разработанным в лаборатории электромагнитных технологий ХНАДУ оборудованием [16]. Для определения вида вмятины вводится коэффициент глубины вмятины  $k$  [1]

$$k = \frac{z}{D}, \quad (1)$$

где  $z$  – глубина вмятины (деформации), м;  $D$  – диаметр вмятины, м.

В соответствии с выражением (1) можно выделить следующие виды вмятин (рис. 2) [1]:

- упругие деформации – предел текучести металла (рис. 3) не преодолен,  $k < 0,025$ ;
- пластичные деформации – металл находится в зоне между пределом текучести и пределом прочности; при этом защитное лакокрасочное покрытие остается неповрежденным,  $0,025 \leq k \leq 0,03$ ;
- промежуточное положение деформации – металл находится в точке предела текучести,  $k > 0,03$ .

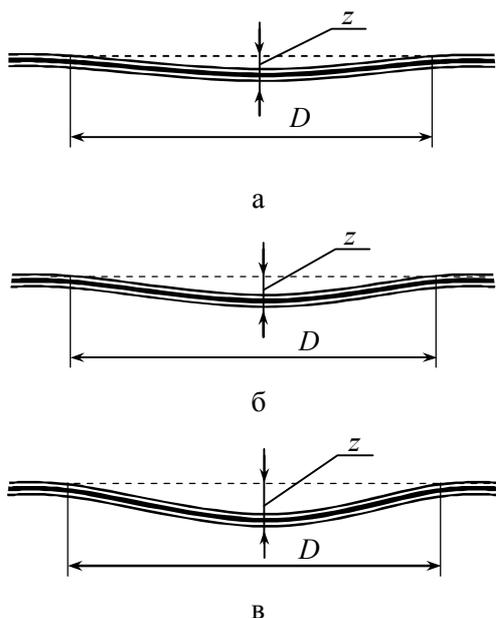


Рис. 2. Виды вмятин: а – вмятина при  $k < 0,025$ ; б – вмятина при  $0,025 \leq k \leq 0,03$ ; в – вмятина при  $k > 0,03$

Приведенная классификация вмятин носит локальный характер в рамках рассматриваемой технологии.

В соответствии с приведенной классификацией вмятин и выбирается технологический маршрут операции рихтовки. Оператор

определяет как уровень запасаемой энергии, так и количество разрядных импульсов. Данные параметры выбираются исходя из статистического опыта при эксплуатации конкретного оборудования. Необходимости в аналитических исследованиях и расчетах здесь нет, поскольку такой подбор параметров не является ни трудоемким, ни энерго- и ресурсозатратным, и выполняется оператором в процессе отработки технологического маршрута. Поскольку разработанное оборудование для данной технологии обеспечивает её гибкость и быструю адаптацию для конкретных условий кузовного ремонта.

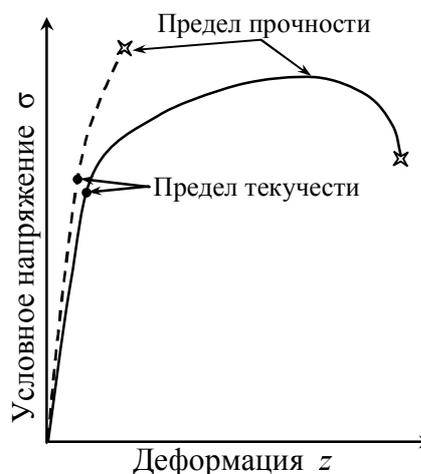


Рис. 3. Диаграммы растяжения для двух металлов с разной пластичностью: сравнительно хрупкого (штриховая линия) и более пластичного (сплошная линия)

Удаление вмятин с небольшой пластической деформацией происходит в результате:

- многократной импульсной нагрузки металла, что способствует релаксации остаточных деформаций и снятию механического напряжения металла;
- действия эффекта гиперпластичности (деформация металла без нарушения его структуры и свойств) [20].

В результате выполненных исследований проведена успешная практическая апробация оборудования внешней магнитно-импульсной рихтовки на различных марках сталей кузовных панелей автомобилей толщиной 0,6–1,2 мм, с радиальными геометрическими размерами удаляемых вмятин до 50 мм и с глубиной вмятины до 2 мм [16].

### Выводы

Определена область применения новой технологии внешней бесконтактной магнитно-импульсной рихтовки кузовных панелей автомобилей с использованием энергии импульсных магнитных полей.

Проведен анализ альтернативных методов удаления вмятин с листовых металлов, который показал, что данные альтернативные методы явно уступают в преимуществах магнитно-импульсным методам.

Представлен классификатор вмятин для новой технологии внешней бесконтактной магнитно-импульсной рихтовки кузовных панелей автомобилей с использованием энергии импульсных магнитных полей.

Практическая апробация оборудования внешней магнитно-импульсной рихтовки показала свою действенность и эффективность на различных марках сталей кузовных панелей автомобилей с толщиной 0,6–1,2 мм и радиальными геометрическими размерами удаляемых вмятин до 50 мм, с глубиной вмятины до 2 мм.

### Литература

1. Гнатов А.В. Научные основы восстановления кузовных панелей автомобилей методами внешней бесконтактной рихтовки: дисс. ... доктора техн. наук : 05.22.20 / Гнатов Андрей Викторович. – Х., 2014. – 392 с.
2. Batygin Yuri V. Pulsed electromagnetic attraction of nonmagnetic sheet metals / Yuri V. Batygin, Sergey F. Golovashchenko, Andrey V. Gnatov // *Journal of Materials Processing Technology*. – 2014. – Vol. 214, Issue 2. – P. 390–401.
3. Батыгин Ю.В. Магнитно-импульсные технологии для восстановления корпусных элементов транспортных средств. Ч. 2. Оборудование для практической реализации внешней бесконтактной магнитно-импульсной рихтовки / Ю.В. Батыгин, А.В. Гнатов, И.С. Трунова // *Научный вiсник ХДМА*. – 2013. – № 2 (9). – С. 68–82.
4. Welcome to BETAG Innovation. – 2014. – Режим доступа: [www.beulentechnik.com](http://www.beulentechnik.com).
5. Pat. 7,124,617 B2 USA (США), B21J 15/24 B21D 5/00. Magnetic dent removal device, method and kit / Eric Richard Satterlee, Wayne Tanabe; applicant and patentee Eric Richard Satterlee, Wayne Tanabe, Hickory, Arlington HeightP. – № 10/341,611 ; stated 14.01.2003; published 24.10.2006.
6. Pat. 7,143,627 B2 USA (США), B21J 15/24. Apparatus and method for removing dents from metal / James M. Akins; applicant and patentee James M. Akins, Dublin. – № 11/138,057 ; stated 26.05.2005; published 05.12.2006.
7. Pat. 4,252,008 USA (США), B21D 26/14. Apparatus for removing dents from automobile bodies and the like / William L. Dibbens; applicant and patentee William L. DibbenP. – № 12/648 ; stated 16.02.1979; published 24.02.1981.
8. Pat. 6,014,885 USA (США), B21D 1/06. Dent removal apparatus and method of operation / Gerald J. Griffaton; applicant and patentee Gerald J. Griffaton, Berwyn. – № 08/958,424 ; stated 27.10.1997; published 18.01.2000.
9. Pat. 6,538,250 B1 USA (США), B21D 1/12. Apparatus and method for vacuum dent repair / Borchert Donald Paul; applicant and patentee Dent Defyer Inc. – № 09/707,562; stated 06.11.2000; published 25.03.2003.
10. Гнатов А.В. Импульсные магнитные поля для прогрессивных технологий. Магнитно-импульсные технологии бесконтактной рихтовки кузовных элементов автомобиля: монография / А. В. Гнатов, Ю. В. Батыгин, Е. А. Чаплыгин. – Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012. – 242 p.
11. 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.
12. AutoSpectator. – 2013. – Режим доступа: <http://www.autospectator.com/cars/automotive-manufacturing/0023205-ti-automotive-adopts-pulsar-magnetic-pulse-welding-systems-automoti>.
13. Кузовной ремонт легковых автомобилей: производственно-практическое издание. – Минск : Автостиль, 2003. – 272 с.
14. Синельников А.Ф. Кузова легковых автомобилей: обслуживание и ремонт / А.Ф. Синельников, Ю.Л. Штоль, С.А. Скрипников – М.: Транспорт, 1995. – 256 с.

15. Кузовные работы : пособие по самостоятельному ремонту. Цветные фотографии. – Днепропетровск: Монолит, 2011. – 164 с.
16. Лаборатория электромагнитных технологий. – 2013. – Режим доступа: <http://electromagnetic.comoj.com>.
17. Белый И.В. Справочник по магнитно-импульсной обработке металлов / И.В. Белый, С.М. Фертик, Л.Т. Хищенко. – Х.: Вища школа, 1977. – 190 с.
18. Батыгин Ю.В. Магнитно-импульсная обработка тонкостенных металлов / Ю.В. Батыгин, В.И. Лавинский. – Х.: МОСТ-Торнадо, 2002. – 288 с.
19. Батыгин Ю. В. Импульсные магнитные поля для прогрессивных технологий. Т. 1 / Ю.В. Батыгин, В.И. Лавинский, Л.Т. Хищенко; под ред. проф. Ю.В. Батыгина. – 2-е изд. – Х.: МОСТ-Торнадо, 2003. – 288 с.
20. Daehn G. P. Hyperplastic Forming: Process Potential and Factors Affecting Formability / G. P. Daehn, V. J. Vohnout, P. Datta // Superplasticity and Superplastic Forming; – 2000. – Vol. 601. – P. 247–253.

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

Статья поступила в редакцию 15 октября 2014 г.

---