

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ МАРШРУТ ОПЕРАЦИИ ВНЕШНЕЙ БЕСКОНТАКТНОЙ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ РИХТОВКИ

*Гнатюк А.В.*

*Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет*

*В статье определен технологический маршрут операции внешней бесконтактной магнитно-импульсной рихтовки. Представлена условная классификация вмятин, которые могут быть удалены методами внешней магнитно-импульсной рихтовки. Проведен анализ альтернативных, по отношению к магнитно-импульсному методов удаления вмятин с листовых металлов. Обозначены основные преимущества магнитно-импульсных методов.*

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

**Введение.** Ремонтные и восстановительные работы корпусных и кузовных элементов транспортных средств являются все более востребованными, что предъявляет все более высокие (жесткие) требования к оборудованию, которое обеспечивает выполнение данного вида работ. Особенно актуально это для методов и средств рихтовки и восстановления кузовных панелей автомобилей [1]. Как показывают статистические данные, до 80 % повреждений кузовных элементов автомобилей 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 методы восстановления кузовов автомобилей, позволяющие произвести так называемую внешнюю рихтовку без разборки кузовных элементов и нарушения существующего защитного покрытия [1, 2].

На данный момент существует несколько технологий ремонта и восстановления кузовных панелей автомобилей без их разборки и демонтажа, но наиболее перспективным из них, всё же являются магнитно-импульсные технологии ремонта [3–6].

**Анализ основных достижений и публикаций.** Следует отметить и наличие иных, альтернативных по отношению к магнитно-импульсному методов удаления вмятин с листовых металлов. Так, фирмой Beulentechnik AG [6] 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. Американскими инженерами предложен целый ряд технических способов удаления вмятин с металлических конструкций. Например, в патентах [7, 8] 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 [9] предложен комплекс по удалению вмятин с кузовов автомобилей, в основу которого положено совмещение гидравлики с электромагнитом. В патенте [10] описан пневматический способ и оборудование для удаления вмятин с кузовов автомобилей. Вакуумный способ удаления вмятин описан в патенте [11]. В монографии [12] описывается способ удаления вмятин с помощью интенсивного нагрева и последующим резким охлаждением участка, где находится вмятина. Авторы монографии [13] 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 разборку и демонтаж кузовных элементов.

**Актуальность исследований.** Фактически внедрение магнитно-импульсных технологий в ремонт и восстановление корпусных и кузовных элементов транспортных средств, привело к появлению совершенно нового направления, которое можно сформулировать, как развитие методов восстановления кузовов и корпусов транспортных средств, основанных на использовании энергии импульсных электромагнитных полей [14, 15].

Данные методы обладают рядом преимуществ:

- экологическая чистота и ресурсосбережение;
- отсутствие механического контакта с объектом обработки;
- низкая себестоимость оборудования (в сравнении с существующими аналогами);
- возможность удаления вмятин с кузовных панелей автомобилей без их разборки и демонтажа;
- возможность сохранения защитного лакокрасочного покрытия;
- управляемость процессом рихтовки;
- универсальность – возможность использования для других технологических операций (обжим, раздача, штамповка, формовка, и т.п.);
- быстрота и оперативность выполнения ремонтных и восстановительных операций.

Следует отметить, что при работе с металлом традиционными механическими методами (рихтовке, выдавливании, скручивании и т.п.), металл становится тонким и растягивается. При этом особой деформации подвергается верхний слой металла, что приводит к нарушению самой его структуры. Магнитно-импульсные методы рихтовки лишены перечисленных недостатков, т.к., взаимодействие магнитного поля с индуцированным током (наведенным по всей толщине обрабатываемого металла) приводит к удалению вмятин в металле возбуждаемыми силами притяжения. Данные силы действуют равномерно по всей толщине металла [2, 3, 12 – 14, 16].

**Цель работы.** Определение технологического маршрута операции внешней бесконтактной магнитно-импульсной рихтовки. Классификация вмятин, которые могут быть удалены методами внешней магнитно-импульсной рихтовки.

**Технологический маршрут операции рихтовки.** Работа комплекса внешней бесконтактной магнитно-импульсной рихтовки кузовов автотранспортных средств можно проиллюстрировать схемой, представленной на рис. 1. [14, 15]. Энергетический блок (источник мощности) работающий от сети  $\sim 380/220$  В. Управление работой комплекса осуществляется приборами контроля и управления (система управления). Инструмент, посредством которого оператор выполняет восстановление поврежденной металлической поверхности, соединен с энергетическим блоком гибким кабелем.

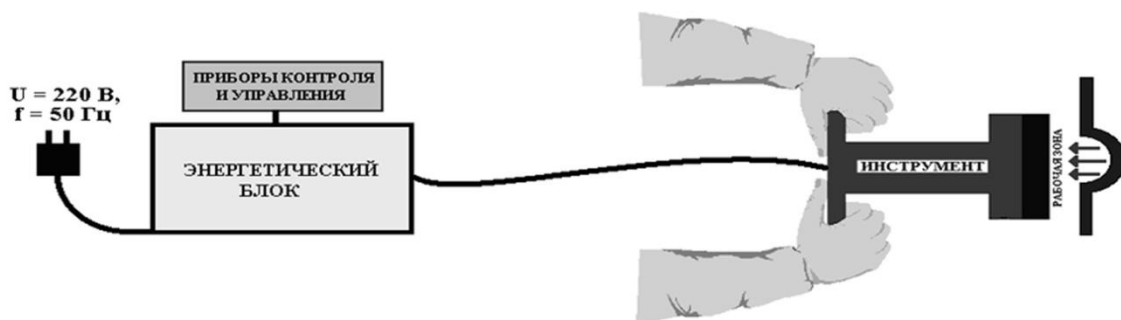


Рис. 1 – Схема, иллюстрирующая работу комплекса внешней бесконтактной магнитно-импульсной рихтовки

Отработка технологического маршрута проводилась на экспериментальном комплексе для внешней бесконтактной магнитно-импульсной рихтовки, созданном на базе магнитно-импульсной установки МИУС-2, разработанной в лаборатории электромагнитных технологий ХНАДУ (рис. 2) [14, 15, 17–20].



Рис. 2 – Экспериментальный комплекс внешней бесконтактной магнитно-импульсной рихтовки

Технологический маршрут внешней бесконтактной магнитно-импульсной рихтовки можно осветить фотоиллюстрациями (рис. 3) проведенных экспериментальных исследований, которые отражены в публикациях [2, 14, 17, 21] и на сайте «Лаборатория электромагнитных технологий» ХНАДУ [15].

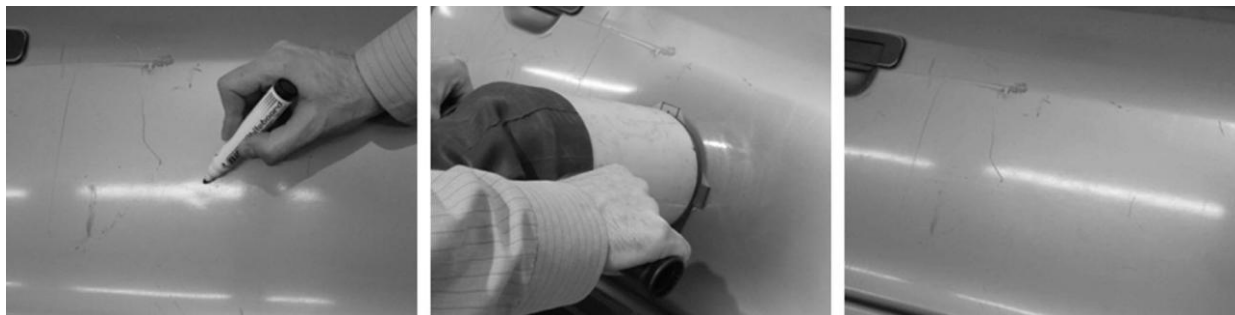


Рис. 3 – Иллюстрация технологического маршрута внешней бесконтактной магнитно-импульсной рихтовки

*Технологический маршрут внешней бесконтактной магнитно-импульсной рихтовки.*

1. Производится внешний осмотр поверхности элементов кузова автомобиля на предмет оценки повреждений, как объектов, подлежащих устранению. Геометрические размеры и характер выявленных вмятин определяет уровень и интенсивность необходимого силового воздействия.

2. Определяются границы вмятины и её геометрия, что фиксируется легко стираемым маркером (рис. 3, слева).

3. С внешней стороны кузовной панели автомобиля с вмятиной (непосредственно над ней) размещается специальная диэлектрическая накладка, назначение которой – жесткая фиксация рабочей зоны инструмента магнитно-импульсной рихтовки по отношению к внешним границам вмятины, подлежащей устранению.

4. Выбирается необходимый уровень энергии, который устанавливается оператором на пульте управления.

5. Выбирается необходимое количество разрядных импульсов силового воздействия.

6. Оператор фиксирует инструмент внешней бесконтактной магнитно-импульсной рихтовки над областью вмятины на кузове автомобиля (рис. 3, центр).

7. Оператор приводит систему в действие, производится внешняя бесконтактная магнитно-импульсная рихтовка элемента кузовной панели автомобиля.

8. Возбуждаемые силы притягивают металл кузовной панели автомобиля в области рабочей зоны инструмента до первоначального уровня ровной поверхности.

9. После проведения операции рихтовки инструмент и диэлектрическая накладка убираются, стираются нанесенные маркером обозначения (рис. 3, справа)

10. При необходимости проводится коррекция (доводка) кузовной панели.

При необходимости технологические операции внешней бесконтактной магнитно-импульсной рихтовки осуществляют несколько раз до полного восстановления поврежденной поверхности. При устранении вмятин с большими геометрическими размерами применяется комплексный технологический подход.

Если устраняются несколько вмятин, для каждой из них технологический маршрут рихтовки осуществляется отдельно, согласно выше представленному алгоритму.

**Классификатор вмятин.** Основным преимуществом рассматриваемого магнитно-импульсного метода рихтовки является то, что ремонтная операция производится с внешней стороны поврежденной кузовной панели автомобиля без её разборки и демонтажа. Сам же процесс ремонта длится от нескольких секунд до нескольких минут, в зависимости от формы вмятины, её расположения и геометрических разметов. Ход операции и её технологический маршрут определяется, собственно, параметрами вмятины на кузовной панели. Последнее обстоятельство требует задаться условной классификацией рихтуемых вмятин.

Данная классификация обозначит область применения магнитно-импульсного метода рихтовки кузовных панелей автомобилей.

Накопленный опыт экспериментальных исследований и практической апробации инструментов для внешней бесконтактной магнитно-импульсной рихтовки, позволяет выделить три основных вида вмятин, которые могут быть удалены разработанным в лаборатории электромагнитных технологий ХНАДУ оборудованием [15]. Для определения вида вмятины вводится коэффициент глубины вмятины  $k$  [20]:

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

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

В соответствии с выражением (1) можно выделить следующие виды вмятин (рис. 4) [20]:

- упругие деформации – предел текучести металла [22] 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,  $k > 0,03$ .

Приведенная классификация вмятин носит локальный характер в рамках рассматриваемого метода рихтовки. Следует отметить, что разные марки сталей имеют различные значения предела текучести [22], и превышение точки предела текучести приводит к нарушению защитного покрытия на металле. Рассматриваемый метод внешней бесконтактной магнитно-импульсной рихтовки позволяет устранять (с допустимой точностью) и такие деформации, в которых металл прошел точку предела текучести, но в таких случаях речь о сохранности лакокрасочного покрытия уже не идет.

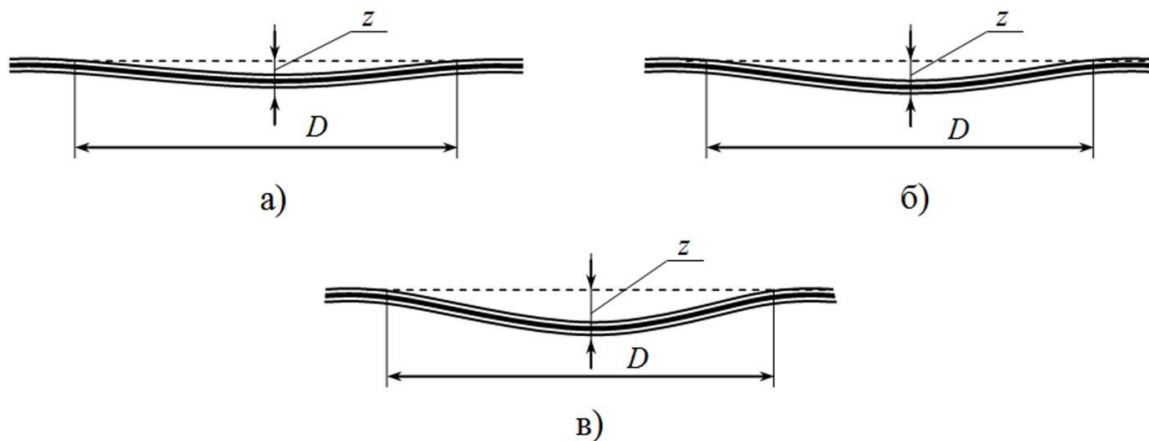


Рис. 4 – Виды вмятин; а) вмятина при  $k < 0,025$ ; б) вмятина при  $0,025 \leq k \leq 0,03$ ; в) вмятина при  $k > 0,03$

В соответствии с приведенной классификацией вмятин и выбирается технологический маршрут операции рихтовки. Т.е. оператор определяет как уровень запасаемой энергии, так и количество разрядных импульсов. Данные параметры выбираются, исходя из статистического опыта при эксплуатации конкретного оборудования.

Необходимо отметить, что удаление вмятин с небольшой пластической деформацией происходит в следствии:

- многократной импульсной нагрузки металла, что способствует релаксацию остаточных деформаций и снятию механического напряжения металла.
- действия эффекта гиперпластичности (деформация металла без нарушения его структуры и свойств) [23].

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 с глубиной вмятины до 2 мм [15].

**Выводы.** Проведенные исследования в рамках настоящей работы позволяют сделать следующие выводы.

1. Определен технологический маршрут операции внешней бесконтактной магнитно-импульсной рихтовки.
2. Представлена классификация вмятин, которые могут быть удалены методами внешней магнитно-импульсной рихтовки.
3. Представлен анализ альтернативных, по отношению к магнитно-импульсному, методов удаления вмятин с листовых металлов. Обозначены основные преимущества магнитно-импульсных методов.
4. Рассматриваемый магнитно-импульсный метод рихтовки кузовных панелей автомобилей позволяет удалять вмятины с поперечными размерами до 50 мм с глубиной до 2 мм. Вмятины больших размеров требуют комплексный технологический подход.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Батыгин Ю. В. Магнитно-импульсные технологии для восстановления корпусных элементов транспортных средств. Часть 1 Актуальность и перспективность направления МИОМ. Пути решения / Ю. В. Батыгин, А. В. Гнатов, И. С. Трунова // Науковий вісник ХДМА. – Херсон : ХДМА. –2013. – № 1 (8). – С. 104–111.
2. Новая современная технология внешней бесконтактной рихтовки автомобилей : матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції [«Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту»], (Вінниця, 21–23 жовтня, 2013 р.) / А. В. Гнатов – Вінниця : ВНТУ, 2013. – С. 39–41.

3. Гнатов А. В. Анализ электродинамических процессов в цилиндрических индукторных системах – инструментах магнитно-импульсной рихтовки : монографія / А. В. Гнатов. – Харьков : ХНАДУ, 2013 – 292 с.
4. Кузовной ремонт легковых автомобилей: [производственно-практическое издание]. – Минск : Автостиль, 2003. – 272 с.
5. Кузовные работы : [пособие по самостоятельному ремонту. Цветные фотографии]. – Днепропетровск : Монолит, 2011. – 164 с.
6. Welcome to BETAG Innovation [Электронный ресурс] – 2014. – Режим доступа: [www.beulentechnik.com](http://www.beulentechnik.com).
7. Пат. 7,124,617 B2 USA (США), B21J 15/24 B21D 5/00. Magnetic dent removal device, method and kit / Eric Richard Satterlee, Wayne Tanabe; заявитель и патентообладатель Eric Richard Satterlee, Wayne Tanabe, Hickory, Arlington HeightP. – № 10/341,611 ; заявл. 14.01.2003; опубл. 24.10.2006.
8. Пат. 7,143,627 B2 USA (США), B21J 15/24. Apparatus and method for removing dents from metal / James M. Akins; заявитель и патентообладатель James M. Akins, Dublin. – № 11/138,057 ; заявл. 26.05.2005; опубл. 05.12.2006.
9. Пат. 4,252,008 USA (США), B21D 26/14. Apparatus for removing dents from automobile bodies and the like / William L. Dibbens; заявитель и патентообладатель William L. DibbenP. – № 12/648 ; заявл. 16.02.1979; опубл. 24.02.1981.
10. Пат. 6,014,885 USA (США), B21D 1/06. Dent removal apparatus and method of operation / Gerald J. Griffaton; заявитель и патентообладатель Gerald J. Griffaton, Berwyn. – № 08/958,424 ; заявл. 27.10.1997; опубл. 18.01.2000.
11. Пат. 6,538,250 B1 USA (США), B21D 1/12. Apparatus and method for vacuum dent repair / Borchert Donald Paul; заявитель и патентообладатель Dent Defyer Inc. – № 09/707,562 ; заявл. 06.11.2000; опубл. 25.03.2003.
12. Гнатов А. В. Импульсные магнитные поля для прогрессивных технологий. Магнитно-импульсные технологии бесконтактной рихтовки кузовных элементов автомобиля: монографія / А. В. Гнатов, Ю. В. Батыгин, Е. А. Чаплыгин. – Lap Lambert Academic Publishing, 2012. – 242 с.
13. 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.
14. Гнатов А. В. Научные основы восстановления кузовных панелей автомобилей методами внешней бесконтактной рихтовки: дисс. ... доктора техн. наук : 05.22.20 / Андрей Викторович Гнатов. – Харьков, 2014. – 391 с.
15. Лаборатория электромагнитных технологий // Материалы сайта – 2014. – Режим доступа : <http://electromagnetic.comoj.com>.
16. Batygin Yuri V. Pulsed electromagnetic attraction of sheet metals – Fundamentals and perspective applications / Yuri V. Batygin, Sergey F. Golovashchenko, Andrey V. Gnatov // Journal of Materials Processing Technology. – Elsevier. – 2013. – № 213 (3). – P. 444-452.
17. Гнатов А. В. Внешняя бесконтактная рихтовка кузовных панелей автомобилей / А. В. Гнатов // Вісник СевНТУ. Серія : Машиноприладобудування та транспорт : зб. наук праць. – Севастополь, 2013.– Вип. 142. – С. 61-64.
18. Пат. 73733 України, B21 D 26/14. Генератор багаторазових уніполярних імпульсів струму для магнітно-імпульсної обробки металів / Батигін Ю. В., Гнатов А. В., Аргун Щ. В, Чаплигін Є. О., Дзюбенко О. А., Дробінін О. М ; заявник та патентовласник Харківський нац. автом.-дорожн. ун-т. – № u2012 02178 ; заявл. 24.02.2012; опубл. 10.10.2012, Бюл. № 19.
19. Пат. 61417 Україна, B21 D 26/14. Генератор багатократних імпульсів струму для обробки металів тиском імпульсного магнітного поля / Батигін Ю. В., Гнатов А. В., Чаплигін Є. О., Гнатова Щ. В., Трунова І. С.; заявник та патентовласник Харківський нац. автом.-дорожн. ун-т. – № u2010 13096 ; заявл. 04.11.2010; опубл. 25.07.2011, Бюл. № 14.

20. Пат. 61088 України, В21 Д 26/14. Генератор багаторазових імпульсів струму для магнітно-імпульсної обробки металів з розгалуженим колом комутуючих пристроїв / Батигін Ю. В., Гнатов А. В., Чаплигін Є. О., Воробйов В. В. ; заявник та патентовласник Харківський нац. автом.-дорожн. ун-т. – № u2010 12932 ; заявл. 01.11.2010; опубл. 11.07.2011, Бюл. № 13.

21. Бесконтактные магнитно-импульсные технологии для рихтовки кузовов транспортных средств : материалы пятой международной научно-практической конференции [«Проблемы и перспективы развития Евроазиатских транспортных систем»], (Челябинск, 17-18 мая, 2013 г.) / А. В. Гнатов, И. С. Трунова, Щ. В. Аргун, С. А. Шиндерук // ред. О. М. Ларина, Ю. В. Рождественский – Челябинск : Издательский центр ЮУрГУ – 2013. –С. 71-75.

22. Бобылев А. В. Механические и технологические свойства металлов. Справочник / А. В. Бобылев. – М. : Металлургия, 1980. –296 с

23. Daehn G. P. Hyperplastic Forming: Process Potential and Factors Affecting Formability / G. P. Daehn, V. J. Vohnout, P. Datta // Superplasticity and Superplastic Forming; [Editors P. B. Verbon, M. Z. Verbon, T. Sakuma, T. G. Langdon]. – Volume 601. – 2000. – P. 247-253.

**Гнатов А.В. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ МАРШРУТ ОПЕРАЦІЇ ЗОВНІШНЬОГО БЕЗКОНТАКТНОГО МАГНІТНО-ІМПУЛЬСНОГО РИХТУВАННЯ**

*У статті визначено технологічний маршрут операції зовнішнього безконтактного магнітно-імпульсного рихтування. Представлена умовна класифікація вм'ятин, які можуть бути видалені методами зовнішнього магнітно-імпульсного рихтування. Представлено аналіз альтернативних по відношенню до магнітно-імпульсних методів видалення вм'ятин з листових металів. Позначені основні переваги магнітно-імпульсних методів.*

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

**Hnatov A.V. TECHNOLOGICAL ROUTE FOR OPERATION OF EXTERNAL NON-CONTACT MAGNETIC-PULSE STRAIGHTENING**

*The technological route for operation of external non-contact magnetic pulse straightening was defined in the article. The conventional classification of dents that can be removed by external magnetic-pulse straightening methods was presented. The analysis of alternatives in relation to the magnetic-pulse methods for dents elimination from sheet metal was carried out. The main advantages of magnetic-pulse methods were represented.*

**Keywords:** external straightening, dents elimination, body repair, magnetic-pulse metal working, body panel.

© Гнатов А.В.

Статтю прийнято  
до редакції 22.10.14