

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОГО ПРИТЯЖЕНИЯ ТОНКОСТЕННЫХ ЛИСТОВЫХ МЕТАЛЛОВ

В рамках статті проведений аналіз існуючих рішень, представлених в сучасній науковій періодиці, по реставрації деформованих листових металів. Сформульована конструктивна пропозиція конкретного пристрою для магнітно-імпульсного тяжіння. Експериментальна апробація запропонованого технічного рішення по деформації листових металів, показала його практичну дієздатність..

В рамках статьи проведен анализ существующих решений, освещённых в современной научной периодике, по реставрации деформированных листовых металлов. Сформулировано конструктивное предложение конкретного устройства для магнитно-импульсного притяжения. Экспериментальная апробация предложенного технического решения по деформированию листовых металлов, показала его практическую дееспособность.

ВВЕДЕНИЕ

Постановка проблемы.

Современное состояние технического развития общества предполагает переход к новым, соответствующим данному этапу развития, технологическим операциям. Выполнение данных операций, устоявшимися и известными техническими методами, уже не представляется возможным. Это находит своё отражение в тех отраслях промышленности, например, автомобильной и авиационной, где необходима деформация металлических изделий, для придания им соответствующей формы и реставрация деформированных металлических элементов до первоначального состояния. В связи с этим, в последнее время, все больше внимания уделяется вопросам магнитно-импульсной обработки металла [1-3].

Разработки инструментов для магнитно-импульсного притяжения листовых металлов инициированы производственными операциями по реставрации кузовных покрытий легковых автомобилей и корпусов самолётов. Здесь речь идёт о восстановлении поврежденных металлических поверхностей, т.е. производится удаление вмятин, появившихся по тем или иным причинам в процессе эксплуатации. Причём, как показывает опыт, наибольший интерес вызывает возможность применения, так называемой, внешней рихтовки без разборки корпуса и нарушения существующего лакокрасочного покрытия [4].

Анализ основных достижений и публикаций.

Фирмой Beulentechnik AG (Швейцария) [4] предложены механические способы внешней рихтовки вмятин в автомобильных кузовах (рис. 1.) 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) [5]. Физическая сущность предложенный 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.

Задача о притяжении листовых металлов с помощью силового воздействия со стороны электромагнитных полей может быть решена также и с использова-

нием самых разнообразных технических решений, выдвинутых в разное время разными авторами и отличных от вышеупомянутых предложений фирм "Boeing" и "Electroimpact" (США). К таковым, например, можно отнести различные вариации способа, описанного в монографии [6] и заключающегося в создании медленно нарастающего магнитного поля, резко прерываемого при достижении заданного уровня его напряжённости. При этом в обрабатываемой заготовке наводятся вихревые токи, экранирующие внутреннее поле и препятствующее его уменьшению вне её. Направление индуцированных токов таково, что возникающие электродинамические усилия притягивают заготовку к индуктору, вызывая её деформирование.



Рис. 1. Инструменты для рихтовки вмятин в автомобильных кузовах фирмы Beulentechnik AG

Принципиальная действенность индукционных индукторных систем, основанных на взаимном притяжении проводников с одинаково направленными токами, проиллюстрирована в научных публикациях [7-9]. Практической апробации подвергалась одновитковая цилиндрическая конструкция с двумя одинаковыми листовыми металлами, один из которых играл роль дополнительного вспомогательного экрана и жёстко закреплялся на диэлектрическом основании. Второй лист представлял собой заготовку, подлежащую деформированию. Оба листовых металла располагались симметрично по обе стороны витка индуктора. Источник мощности – магнитно-импульсная установка МИУ-10, с запасаемой энергией 10 кДж. Рабочая частота составляла ~3.5 кГц. Под действием сил притяжения заготовка деформировалась по форме внутреннего окна индуктора. Проведенные эксперименты ограничились лишь вытягиванием заданных участков до образования выпуклостей на её поверхности. Их результаты показаны на рис. 2.

Устранение полученных деформаций притяжением в данной конструкции индукционной индукторной системы оказалось малоэффективным. Основная причина – ослабление электродинамического взаимодействия токов экрана и заготовки вследствие увеличения расстояния между ними.

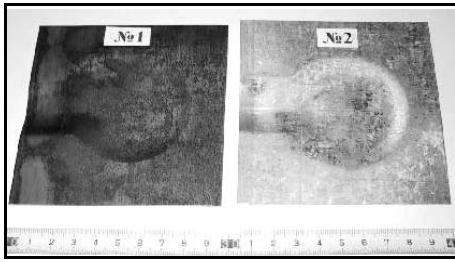


Рис. 2 Образцы стальных листов, деформированные притяжением заданных участков: № 1 – электротехническая сталь, № 2 – оцинкованное железо

Из проведенного анализа следует, что проблема магнитно-импульсной рихтовки является актуальной, но пути её решения только начинают развиваться. А это, в свою очередь, открывает массу возможностей для их создания, модернизации и усовершенствования.

Цель настоящей работы – экспериментальные исследования и практическая апробация теоретически обоснованных предложений в области магнитно-импульсного притяжения тонкостенных листовых металлов.

ЭКСПЕРИМЕНТ, РЕЗУЛЬТАТЫ, ОБСУЖДЕНИЕ

Для достижения поставленной цели был исследован целый ряд индукторных систем-инструментов. В ходе проведенного анализа [4], как наиболее эффективная и легко (с технической точки зрения!) исполнимая была выбрана цилиндрическая индукторная система, схематическое изображение которой представлено на рис. 3. Такая конструкция индукторной системы была изготовлена. Её основные элементы представлены на рис. 4 и рис. 5.

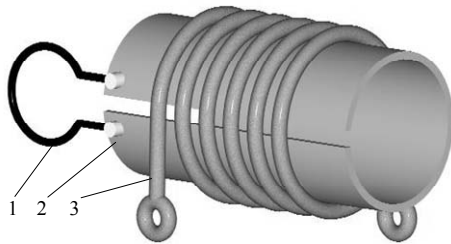


Рис. 3 Схематическое решение цилиндрической индукторной системы: 1 – одновитковый индуктор; 2 – вторичная обмотка; 3 – первичная обмотка

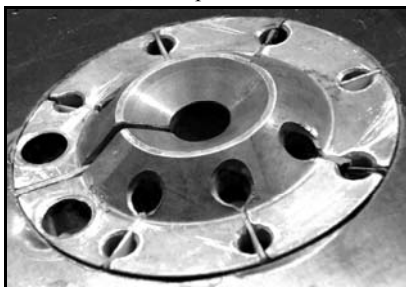


Рис. 4 Индуктор

В качестве основного исполнительного элемента магнитно-импульсного воздействия взят цилиндрический индуктор конического профиля (рис. 4), описанный в работе [3].

В качестве источника мощности использовалась магнитно-импульсная установка МИУС-2, разработанная в лаборатории электромагнитных технологий на кафедре автомобильной электроники ХНАДУ. Внешний вид установки МИУС-2 представлен на рис. 6.

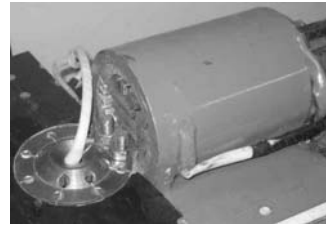


Рис. 5 Цилиндрическая индукторная система



Рис. 6 Установка МИУС-2

Магнитно-импульсная установка МИУС-2 обладает следующими техническими характеристиками:

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

Для проведения эксперимента были взяты образцы обшивки кузова автомобиля фирмы "Субару" толщиной ~1 мм. В ходе эксперимента, сначала, с помощью созданной магнитно-импульсной установки были получены деформации (вмятины) на взятых образцах обшивки кузова автомобиля (рис. 7). Потом, эти образцы перевернули так, чтобы центр образовавшейся лунки совпал с центром отверстия конического индуктора, и произвели втягивание уже существующей лунки в поверхность (рис. 8). На представленных рисунках видно, что форма образованной и удаленной вмятины (лунки) соответствует форме и размеру конуса индуктора.



Рис. 7 Образованные вмятины на образце обшивки кузова автомобиля "Субару"



Рис. 8 Удаление вмятины (слева) на образце обшивки кузова автомобиля "Субару"

Отличительная особенность экспериментального оборудования и проведенных экспериментов от ранее полученных результатов состоит в следующем.

- Силовое воздействие на заготовку со стороны индукторной системы носило кумулятивный характер в результате многократного повторения (ранее описанный в научной периодике результат был получен при однократном силовом воздействии).
- Получен результат на цилиндрическом согласующем устройстве – индукторной системе (ранее подобный результат был получен на дисковом согласующем устройстве).

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, что затрудняет или вообще исключает доступ к поврежденной поверхности изнутри. Поэтому применение магнитно-импульсных технологий для внешнего восстановления поврежденных элементов кузовных конструкций автомобилей является наиболее эффективным, но при этом следует учесть некоторые особенности.

Формовка (рихтовка) корпусных элементов из современных сплавов возможна исключительно при направленном силовом импульсном воздействии, когда металл переходит в, так называемое, состояние "гиперпластичности". Это значит, что относительные деформации обрабатываемых металлических заготовок могут достигать ~200 % [10].

Достичь эффекта "гиперпластичности" листового металла можно либо разовым силовым магнитно-импульсным взаимодействием, (когда энергия одного импульса способна привести к данному явлению), либо серией импульсов (когда силовое магнитное взаимодействие носит кумулятивный характер и энергия, необходимая для явления "гиперпластичности" накапливается от импульса к импульсу).

"Диаграмма растяжения" металла, как качественная иллюстрация процесса многократного силового воздействия, представлена на рис. 9.

Проведенные эксперименты дали позитивные результаты в области притяжения тонкостенных листовых металлов, которые используются в качестве обшивки современных автомобилей. Это говорит о том, что с помощью магнитно-импульсных технологий, реализованных в соответствии с представленными конструктивными особенностями индукторных систем, можно провести **бесконтактную** рихтовку поврежденных элементов, как кузовов автомобилей, так и обшивки корпусов самолетов.

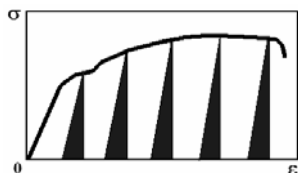


Рис. 9 Диаграмма растяжения металла

ВЫВОДЫ

Из проведенных экспериментов следует, что:

- предложенный вариант индукторной системы может, как создавать деформации в листовом металле, так и устранять их;
- сформулированное и апробированное предложение можно рассматривать как одно из возможных конструктивных решений по исполнению реального рабочего инструмента для бесконтактной рихтовки поврежденных кузовных элементов автомобилей;
- практический вариант индукторной системы должен предусматривать прочностные показатели, необходимые для надёжной эксплуатации в течение заданного рабочего срока.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Батыгин Ю.В., Гнатов А.В. Расчет электродинамических усилий в индукционной индукторной системе с ферромагнитным массивным экраном и листовой заготовкой // Электротехника і електромеханіка. – 2009. – № 4. – С.56-59.

2. Батыгин Ю.В., Лавинский В.И., Хименко Л.Т., Импульсные магнитные поля для прогрессивных технологий. Том 1. Изд. второе, переработанное и дополненное под общей ред. д.т.н., проф. Батыгина Ю.В. Х.: Изд. МОСТ-Торнадо, 2003. – 285 с.

3. 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, 18-19 сентября 2007. – С. 3-13.

4. 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 – ХНАДУ, 2009. – 240 с.

5. Yu.V. Batygin, V.I. Lavinsky, L.T. Khimenko, Direction Change of the Force Action upon Conductor under Frequency Variation of the Acting magnetic Field. Proceedings of the 1-st International Conference on High Speed Metal Forming. March 31 / April 1, 2004. Dortmund, Germany. P.157-160.

6. Шнеерсон Г.А. Поля и переходные процессы в аппаратуре сверх сильных токов // Л.: – Энергоиздат, 1981. – 200 с.

7. Батыгин Ю. В., Лавинский В. И., Хименко Л. Т., Физические основы возможных направлений развития магнитно-импульсной обработки тонкостенных металлов // Электротехника і електромеханіка. – 2004. – № 2. – С. 80-84.

8. Батыгин Ю. В., Бондаренко А. Ю., Чаплыгин Е. А. Электродинамические процессы в цилиндрической индукционной индукторной системе для магнитно-импульсного притяжения листовых заготовок // Авіаційно-космічна техніка і технологія. – 2007. – № 11 (47). – С. 109-117.

9. Батыгин Ю.В., Гнатов А.В., Сериков Г.С. Расчет усилий в индукционной индукторной системе прямоугольной геометрии с ферромагнитным массивным экраном и заготовкой // Электротехника і електромеханіка. – 2009. – № 3. – С. 61-64.

10. Дарков А.В., Шпиро Г.С., Сопротивление материалов. М: Изд. "Высшая школа". – 1969. – 730с.

Поступила 05.12.2009

Батыгин Юрий Викторович, д.т.н., проф.

Гнатов Андрей Викторович, к.т.н., с.н.с.

Говоруценко Сергей Фёдорович,

Смирнов Дмитрий Олегович

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

61002, Харьков, ул. Петровского, 25, ХНАДУ,

кафедра "Автомобильная электроника"

тел. (057) 700-38-52, e-mail: batygin48@mail.ru,

kalifus@yandex.ru, as.pirant@mail.ru

Головащенко Сергей Фёдорович,

Technical Leader

Manufacturing Research Department,

Ford Research & Advanced Engineering

Research and Innovation Center

MD 3135, 2101 Village Road, Dearborn, MI 48121 USA

phone: (313)337-3738, Fax: (313) 390-0514

e-mail: sgolovas@ford.com

Batygin Yu.V., Golovashchenko S.F., Gnatov A.V.,

Smirnov D.O.

Experimental research into magnetic-pulse attraction of thin-wall sheet metals.

Within the framework of the article, analysis of available solutions for deformed sheet metal restoration described in the current scientific periodicals is conducted. A constructive suggestion about a specific device for magnetic pulse attraction is formulated. Experimental approbation of the introduced engineering solution concerning sheet metal deformation showed its functionality.

Keywords – induction inductor system, massive screen, magnetic field, magnetic-pulse attraction, sheet metals.