

УДК 621.318.4

МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ В ПЕРЕДОВЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ СОВРЕМЕННОСТИ

Ю.В. Батыгин, профессор, д.т.н., Е.А. Чаплыгин, доцент, к.т.н.,
Р.С. Давыдков, студент, С.С. Цапко, студент, ХНАДУ

Аннотация. Работа посвящена краткому обзору основных достижений передовых технологий с использованием энергии импульсного магнитного поля. Новые предложения основаны на результатах развития нового научного направления в области магнитно-импульсной обработки тонкостенных листовых металлов при проникновении действующих полей.

Ключевые слова: магнитно-импульсная обработка, обработка металлов давлением, штамповка печатных плат, внешняя рихтовка

МАГНІТНО-ІМПУЛЬСНА ОБРОБКА МЕТАЛІВ В ПЕРЕДОВИХ ТЕХНОЛОГІЯХ СУЧАСНОСТІ

Ю.В. Батигін, професор, д.т.н., Є.О. Чаплигін, доцент, к.т.н.,
Р.С. Давидков, студент, С.С. Цапко, студент, ХНАДУ

Анотація. Роботу присвячено стислому огляду основних досягнень передових технологій з використання енергії імпульсного магнітного поля. Нові пропозиції засновані на результатах розвитку нового наукового напрямку в галузі магнітно-імпульсної обробки тонкостінних листових металів при проникненні діючих полів.

Ключові слова: магнітно-імпульсна обробка, обробка металів тиском, штамповка печатних плат, зовнішня рихтовка

MAGNETIC PULSE TREATMENT OF METALS IN ADVANCED MODERN TECHNOLOGIES

Yu. Batygin, professor, dr. eng. sc., E. Chaplygin, assistant professor, cand. eng. sc.,
R. Davydkov, student, S. Tsapko, student, KhNAHU

Abstract. The work is devoted to a brief overview of the major achievements of advanced technologies using energy of a pulsed magnetic field. New proposals based on the results of the development of a new scientific direction in the field of magnetic-pulse processing of thin-walled sheet metals with the penetration of existing fields.

Key words: magnetic-pulse processing, metal forming, stamping printed circuit boards, removing dents.

Введение

Экология, экономия ресурсов и энергии являются наиболее острыми проблемами среди основных проблем современности. Решение этих проблем будет определять будущее все-

го человечества. Практическое использование энергии импульсных электромагнитных полей открывает исключительные перспективы для создания прогрессивных технологий по обработке материалов любой физической природы.

Анализ публикаций

Научно-технической информации о магнитно-импульсной обработке металлов появились в начале пятидесятых годов прошлого века. Интенсивное развитие магнитно-импульсных технологий продолжалось до начала восьмидесятых, следующие пятнадцать, двадцать лет, характерны снижением интереса к обработке металлов полевыми методами. Но в начале 2000-х магнитно-импульсные технологии снова привлекли внимание. Так как были обнаружены некоторые уникальные свойства. Например, гиперпластичность, когда относительные деформации могут достигать ~ 200% [1, 2].

Цель и постановка задачи

Цель работы – провести обзор применения магнитно-импульсных технологий в передовых технологиях современности.

Оборудование для магнитно-импульсной обработки металлов

Отличительной особенностью методики полевого воздействия является отсутствие каких-либо непосредственных контактов с обрабатываемым объектом. Электромагнитная штамповка осуществляется без каких-либо пуансонов. Силы давления появляются при взаимодействии поля с металлической проводящей заготовкой. Тем не менее, как и в механике для технологической операции необходимы два основных компонента. Это источник энергии и инструмент. Источником энергии является магнитно-импульсная установка, а инструментом – индуктор который формирует электромагнитное поле. Если источник энергии (магнитно-импульсная установка) это универсальный элемент оборудования для различных операций, то инструмент-индуктор подбирается под конкретную производственную операцию (рис. 1) [3].

Реализованные и новые передовые технологии

В специальной литературе выделяются три группы технологических операций. Первая группа – объединяет операции «сжатия». Магнитные силы давления направлены к оси системы. Ко второй группе относятся производственные операции «расширения». Магнитные силы давления направлены от оси

системы. Третья группа операций – «плоская листовая штамповка». Силы магнитного давления направлены от индуктора к заготовке.



а



б

а – одновитковый индуктор; б – магнитно-импульсная установка

Рис. 1. Оборудование, созданное в ХНАДУ

Эксперименты показали, что при снижении частоты действующего магнитного поля, силы отталкивания меняют направление и становятся силами притяжения. Впервые этот феномен был получен и описан учеными Национального технического университета «Харьковский Политехнический институт» Ю. В. Батыгиным, В. И. Лавинским и Л. Т. Хименко для плоского варианта индуктора системы.

Технологические операции, описанные выше, позволяют осуществлять не только сборочные, формовочные, штамповочные, но и сварочные операции, так называемая холодная сварка. Например, энергию магнитно-импульсного воздействия используют для обжима кабельных соединений, формовки деталей необходимой объемной формы, а также холодной сварки различных листовых металлов, таких как алюминий и медь, при этом обеспечивая надежное соединение способное выдерживать большие механические нагрузки.

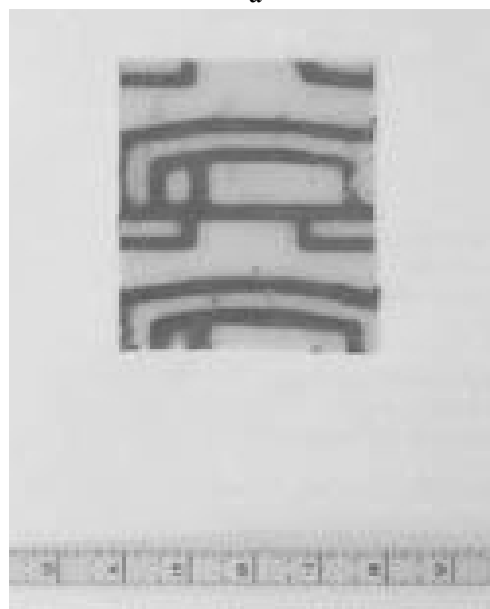
Заканчивая описание типичных и успешных магнитно-импульсных технологий, следует отметить, что все приведенные примеры были выполнены для металлов с высоким значением удельной электропроводности. Обработка выполняется в условиях режима скин-эффекта. Когда же речь идет о деформации плохо проводящих или достаточно тонких металлических заготовок схема традиционной магнитно-импульсной обработки требует некоторых дополнений в конструкции инструмента. Наиболее эффективным, как показывает практика, является добавление в индукторную систему «спутника» вместе с эластичными вставками. Данное решение предполагает размещение слоями: индуктор-«спутник»-упругий вкладыш, который передает силовое воздействие на обрабатываемый объект. Магнитное давление оказывается на «спутник», после чего оно передается на заготовку через эластичную вставку (специальные сорта резины, жидкость). Такая технология, например, позволяет осуществлять тиснение мелких плоских деталей печатных плат на медной фольге. Однако при этом теряется преимущество бесконтактного воздействия.

В качестве нового направления в магнитно-импульсной обработке металлов, была предложена и обоснована учеными Национального технического университета «Харьковский Политехнический институт» методика, обеспечивающая интенсивное бесконтактное силовое воздействие на тонкостенные металлические объекты. Ее физическая сущность заключается в создании требуемого пространственно-временного распределения воздействующего магнитного поля в металле заготовки [3-4]. Исследования процессов силового взаимодействия импульсных магнитных полей на тонкостенные проводники привели к

техническим решениям конструкций индукторных систем, которые позволяют практически реализовать наиболее важные производственные операции. Впервые предложена новая технологии магнитно-импульсной штамповки печатных плат для электронных устройств. Операция тиснения проводящего рисунка зарядно-выпрямительного устройства микрокалькулятора «Электроника» была проверена экспериментально. Получены положительные результаты. Экспериментальные образцы представлены на рис.2.



а



б

а – чертеж медной фольги, б – готовые платы с печатным монтажом

Рис. 2. Экспериментальные образцы печатных плат проводящих элементов

Принцип действия индукционной системы

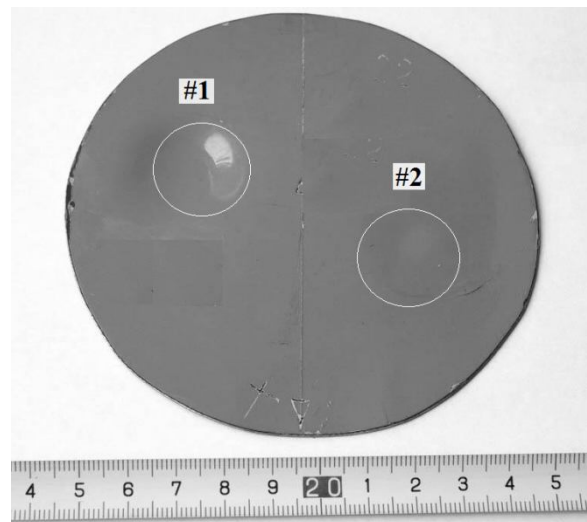
основан на электродинамических явлениях. Суть состоит в том, что плоская электромагнитная волна практически не проникает через тонкостенный проводящий экран в свободное пространство. Технически, этот феномен реализуется с помощью индукторной системы, где чертеж штампуется в листе медной фольги с помощью диэлектрического штампа. Следует отметить, что практическое использование предложенной индукторной системы не ограничивается штамповкой печатных плат из медной фольги, а также может быть использовано и для других металлов.

Комбинации магнитно-импульсного притяжения и отталкивания открывают новые возможности в обработке металлов. Одно из практических применений магнитно-импульсного притяжения – удаление вмятин на корпусах самолетов. Наиболее интересные практические разработки в этой области принадлежат фирмам «Boeing», «ElectroImpac» и «Fluxtronic». Принцип действия данных систем основан на суперпозиции магнитных полей с низкой и высокой частотой, что существенно усложняет и повышает цену таких устройств. В 2004 году ученые из Национального технического университета "Харьковский Политехнический институт" (Ю. В. Батыгин, В. И. Лавинский, Л. Т. Хименко) впервые наблюдали интересное явление. Речь идет о силовом воздействии импульсного магнитного поля с достаточно низкой рабочей частотой на стальные образцы. Эксперименты показали, что снижение частоты до определенного уровня ведет к притяжению заготовки к рабочей поверхности одновитковой индукторной системы. Практическое использование данного эффекта, притяжение стальных листов силами низкочастотного магнитного поля, открывает новые возможности для создания достаточно простых, надежных и сравнительно дешевых устройств магнитно-импульсной рихтовки листовых металлов.

Преимущества таких устройств очевидны:

- отсутствие механических контактов с обрабатываемой поверхностью;
- широкий перечень обрабатываемых металлов;
- удаление вмятин с внешней стороны кузова;
- возможность сохранения лакокрасочного покрытия.

Для экспериментальной апробации создания и удаления вмятин в листовых металлах была изготовлена модельная индукторная система, подключаемая к источнику мощности. Эксперимент был посвящен созданию вмятины, с помощью сил притяжения, диаметром около 0,03 м и глубиной 0,002 м. В процессе работы было создано две идентичные вмятины, после чего одна из них была удалена таким же способом, что и создана. Поверхность листа, где она была, стала гладкой. Последующее магнитно-импульсное притяжение привело бы к появлению новой вмятины с противоположной стороны по отношению к первоначальной. Экспериментальный образец, с созданной и удаленной вмятиной, показан на Рис. 3.



1 – вмятина, полученная магнитно-импульсным притяжением; 2 – часть экспериментального образца с удаленной вмятиной

Рис. 3. Экспериментальный образец листовой стали кузова автомобиля «Mitsubishi»

Основные результаты проведенных экспериментов:

- Существенное уменьшение необходимой энергии для создания вмятины на ровной поверхности.
- При выполнении производственных операций по магнитно-импульсному притяжению была отмечена стабильность получаемых результатов. Этот факт говорит о надежности испытываемого способа для практического применения, например при операциях внешнего удаления вмятин с кузовных поверхностей автомобилей.

Заканчивая описание проведенных экспери-

ментов, следует отметить, что с помощью представленного оборудования магнитно-импульсное притяжение может быть реализовано только для ферромагнитных сталей.

Выводы

Проведен обзор, кратко освещающий основные достижения технологий с использованием энергии импульсного магнитного поля.

Описаны известные подходы решения актуальных производственных операций на основе скин-эффекта. Они показали свою эффективность, получили практическую апробацию и были внедрены в различных отраслях промышленного производства.

Представлены новые направления магнитно-импульсного силового воздействия. Они основаны на результатах развития нового научного направления в области магнитно-импульсной обработки тонкостенных листовых металлов при проникновении действующих полей. Первое из этих предложений связано с тиснением рисунка печатных плат на медной фольге толщиной около 50 мкм. Второе предложение заключается в использовании магнитно-импульсного притяжения для внешнего удаления вмятин на кузове автомобиля. Операция не требует демонтажа элементной базы и позволяет сохранить лакокрасочное покрытие.

Литература

1. Psyk V. Electromagnetic Forming / V. Psyk, D. Rich, B. I. Kinsley, A. E. Tekkaya, M. Kleiner // Journal of Material Processing Technology. 211(2011), pp. 787-829.
2. Белый И. В. Справочник по магнитно-импульсной обработке металлов / И. В. Белый, С. М. Фертик, Л. Т. Хименко // Харьков: Вища школа, 1977. - 190с.
3. Батыгин Ю.В. Импульсные магнитные поля для прогрессивных технологий / Ю. В. Батыгин, В. И. Лавинский, Л. Т. Хименко // Том 1. Издание второе, переработанное и дополненное. Под общей ред. д.т.н., проф. Батыгина Ю.В. Харьков: изд. МОСТ-Торнадо, 2003. - 284с.
4. Батыгин Ю. В. Экспериментальные исследования индукторной системы со спаренными токопроводами для штамповки печатных плат / Ю. В. Батыгин, Л. Д. Горкин, В. И. Лавинский и др. // Резание и инструмент в технологических системах. - Харьков: ХГПУ. - 2000. - Вып.№56. - С. 3-8.

Рецензент: А.В. Гнатов, доцент, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 27 сентября 2015 г.