



УДК 669.2.017:620.18

А.М. Милюкова, А.В. Алифанов
Государственное научное учреждение
«Физико-технический институт НАН Беларуси»
г. Минск, Республика Беларусь
E-mail: annart@mail.ru
Дата поступления 27.04.2021

МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ И УПРОЧНЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ

Аннотация

Магнитно-импульсные технологии играют важную роль в изготовлении и упрочнении поверхности высококачественных деталей из металлических и неметаллических материалов. Разработанное оборудование и технологии позволяют не только штамповать, упрочнять детали, но и соединять металлические материалы с различными механическими, физическими или химическими свойствами, что обеспечивает получение легких конструкций, высокопрочных деталей и экономию затрат.

Ключевые слова: магнитно-импульсное оборудование, индукторные системы, технологии, штамповка, сварка, упрочнение.

Введение

Исследования воздействия магнитного поля на окружающий мир ведутся с момента открытия этого явления. Более 60-ти лет в различных странах публикуется множество научных работ о результатах исследования эффектов, получаемых при воздействии магнитных полей в различных условиях на разнообразные материалы и изделия [1 – 5]. В 2020 году исполнилось 55 лет с момента появления в тематике исследований Физико-технического института Национальной академии наук Беларуси импульсные методы обработки материалов давлением: изучение и создание оборудования для штамповки металлов импульсным магнитным полем, для электрогидроимпульсной и пневмоударной обработки листовых металлов.

Выполненные работы в области теории импульсных процессов и разработки оборудования, эффектов высокоскоростного пластического течения и разрушения металлов позволили в 1980-90 гг. широко внедрить новые технологии на многих предприятиях страны. Созданные за этот период магнитно-импульсные установки в количестве более 20 единиц были внедрены на предприятиях Беларуси: ПО «Горизонт», «МАЗ», «МЗКТ», «БелАЗ», «БПОВЦ»,

«Электронмаш» и др. В России – «ЦНИИТ», «НИИЭТО» (г. Москва). А также в Украине, в Армении, Австрии. Электрогидроударные и пневмоударные прессы были внедрены на многих предприятиях авиационной промышленности СССР, организован серийный выпуск прессов на заводе «Кузлитмаш» (г.Пинск, РБ), на котором были изготовлены десятки прессов промышленного исполнения. Указанные разработки неоднократно демонстрировались на международных выставках в Ганновере и Италии [6].

Разработанные способы обработки материалов с помощью высоких давлений и ударных волн при электрическом разряде в жидкости (электрогидроимпульсная обработка материалов), при электрическом взрыве проводников в различных средах (электровзрывная обработка материалов), комплекса силовых, тепловых и структурных эффектов при взаимодействии импульсного магнитного поля с металлами (магнитно-импульсная обработка материалов МИОМ) нашли применение в различных отраслях металлообрабатывающей промышленности [7 – 10], вошли в учебные программы университетов Беларуси, России и Украины по инженерным специаль-

ностям: «Обработка материалов давлением», «Сварка», «Материаловедение», «Порошковая металлургия» и др..

В настоящее время в Республике Беларусь метод магнитно-импульсной обработки (МИО) нашел также практическое применение для упрочнения поверхности стальных инструментов и высоконагруженных изделий [11]. Ряд испытаний на производствах предприятий Республики Беларусь и за рубежом показали, что в результате высокоскоростной упрочняющей магнитно-импульсной обработки разнообразные стальные инструменты, применяемые в деревообрабатывающей, машиностроительной, пищевой и других отраслях промышленности, повышают свои эксплуатационные характеристики до двух раз [12].

Основная часть

В ФТИ НАН Беларуси был создан научно-практический центр «Парк импульсных технологий обработки материалов» (ПИТОМ) для дальнейшего развития и обеспечения эффективного использования в производственной практике импульсной обработки материалов с организацией выставки имеющегося в институте действующего оборудования: магнитно-импульсных установок с демонстрацией их технологических возможностей: вытяжка-формовка деталей из алюминиевых сплавов и стали, вырубка-пробивка тонколистовых прокладок из металлических и неметаллических материалов, чеканка, вырубка-пробивка тонколистовых металлических материалов, обжим и раздача трубчатых заготовок, резка, отбортовка, развальцовка трубчатых заготовок. Общий вид действующего участка ПИТОМ представлен на рисунке 1. На рисунке 2 представлены основные магнитно-импульсные установки.

Оснащение ПИТОМ действующим оборудованием с перечисленными выше видами технологий магнитно-импульсной обработки материалов позволило создать единственную в СНГ и даже в Европе площадку комплексной демонстрации и рекламы разработок Физико-технического института для научных и коммерческих решений. Важным преимуществом магнитно-

импульсных прессов является короткая кинематическая цепь, отсутствие движущихся частей, малая металлоемкость по сравнению с механическими и гидравлическими прессами, отсутствие необходимости в фундаменте, многократное снижение эксплуатационных расходов, многократное ускорение процесса освоения нового производства, низкая трудоемкость переналадки оборудования на другое изделие.



Рисунок 1. Магнитно-импульсные установки и изготовленные образцы на участке ПИТОМ в Физико-техническом институте НАН Беларуси

Известно, что МИО обладает способностью упрочнять поверхность металлических деталей. МИО наиболее эффективна при воздействии на металлические поверхности, имеющие большое количество различных внутренних дефектов (искривления кристаллической решетки, остаточные внутренние напряжения и т.д.), так как приводит к их частичному устранению, а вышеуказанные дефекты появляются при различных технологических операциях (термических или деформационных). В результате воздействия МИО на металл стабилизируется структура и субструктура металла, что снижает трещинообразование, обеспечивает повышение прочности изделий и, соответственно, увеличивает их срок эксплуатации. Осуществление указанных процессов непосредственно связано с неоднородностью материала стали и локальным выделением теплоты вблизи дефектов при протекании индукционных токов, деформационными и магнитоstrictionными эффектами (в случае изделий, выполненных из магнитных материалов) [13 – 15].

В настоящее время активно модернизируются установки для упрочняющей маг-

нитно-импульсной обработки, которые отличаются своими техническими характеристиками, в частности максимальной запасаемой энергией. Магнитно-импульсный пресс МИП-18, представленный на рисунке 2,а, имеет максимально запасаемую энергию до 15 кДж.

МИП-18 позволяет увеличить эффективность (скорость и частоту) магнитного воздействия на инструмент из коррозионно-стойких и высоколегированных марок стали, тугоплавких сплавов. Конструкция установки с увеличенной рабочей зоной позволяет обрабатывать изделия больших размеров (580x580x700 мм). Встроенная система контроля температуры, разработанная на базе контроллера и цифровых измерителей температуры DS18B20, позволяет проводить исследования динамики изменения температуры поверхности образцов из различных сплавов, а также контролировать температуру нагрева индукторной системы и изделия при различных технологических режимах МИО. Параметры контроля могут быть заданы пользователем и сохранены в энергонезависимой памяти датчика. Используя эти разработки, установлено, что под влиянием магнитно-импульсного воздействия температура нагрева поверхности исследуемых образцов сплавов растет с увеличением энергии МИО от 4 до 10 кДж. При одинаковой энер-

гии воздействия в цилиндрическом индукторе образец нагревается быстрее, чем при МИО на плоском индукторе.

Магнитно-импульсная установка представляет собой генератор импульсных токов, расположенный в металлическом шкафу с рабочей зоной на стальном столе, на котором устанавливают необходимые для создания магнитного поля индукторные системы (рисунок 3).

Обрабатываемое изделие любой формы (сферической, цилиндрической, плоской) помещают в индуктор, надежно закрепляют, включают и программируют технологический режим работы установки, проводят МИО, после чего упрочненное изделие извлекают из индуктора или проводят цикл повторной МИО. Это зависит от материала, из которого изготовлено изделие.

Процесс упрочняющей обработки (в зависимости от выбранного технологического режима) составляет от 3 до 50 с. Однако, процесс установки изделий в зону обработки и снятия после упрочнения достаточно трудоемкий и длительный. С целью ускорения процесса магнитно-импульсной упрочняющей обработки металлических изделий при их большом количестве и для достижения высокой производительности оборудования необходимо осуществить автоматизацию и механизацию процесса, в том числе и вспомогательных устройств.

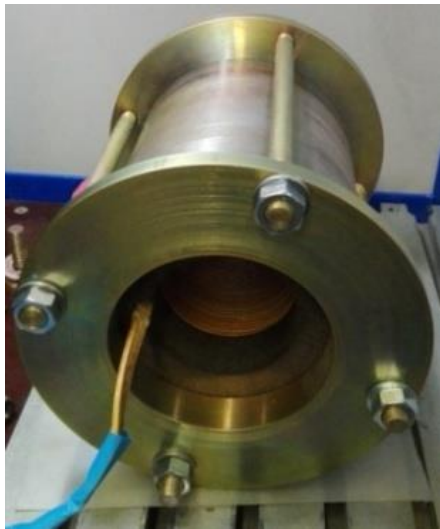


а

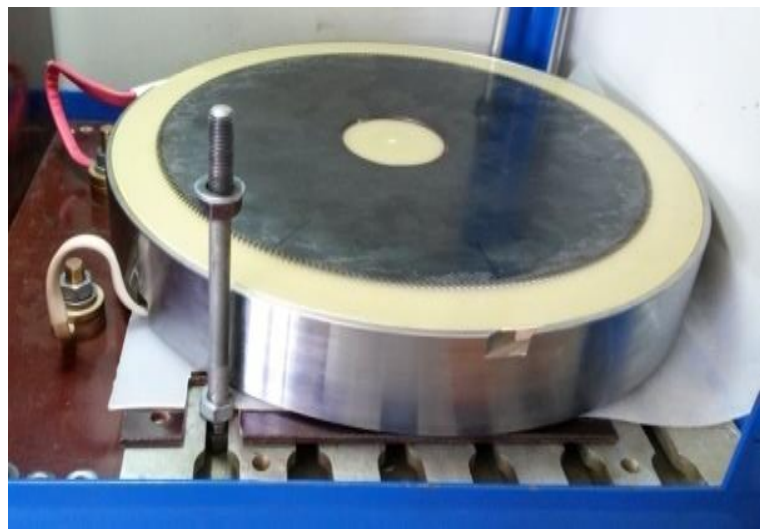


б

Рисунок 2. Магнитно-импульсное оборудование: а – пресс МИП-18, б – электрогидроимпульсный пресс (ЭГИП)



а



б

Рисунок 3 – Индукторные системы для магнитно-импульсной обработки материалов: *а* – цилиндрический индуктор, *б* – плоский индуктор

В зависимости от потребности предприятий для автоматизации оборудования предлагаются следующие основные направления разработки конструкций: универсальная (для обработки разнообразных типов изделий, с программируемыми манипуляторами); типовая для однотипных изделий; индивидуальная (для обработки изделий сложной формы).

На размеры и комплектацию установки в большой степени влияет тип и размер изделия и, соответственно, индуктора. Первый тип – плоский (открытый), когда изделие плоской формы свободно помещается сверху на рабочую плоскость индуктора и фиксируется прижимом сверху, что позволяет создать установку проходного типа, при необходимости беспрепятственно перемещая изделие в зоне упрочнения. Второй тип – цилиндрический или овальный (закрытый), когда изделие цилиндрической или сложной формы помещается внутри индуктора через входное отверстие и после обработки должно быть удалено из индуктора по направлению подачи. В этом случае замкнутая форма индуктора усложняет конструкцию механизмов загрузки и выгрузки изделий, однако не требует прижима изделия сверху.

На конструкцию и комплектацию установки влияет ее требуемая производительность. Очевидно, что с увеличением производительности степень автоматизации должна возрастать, что влечет за собой

повышение стоимости оборудования. Уровень развития и использования современных роботизированных устройств зарубежных фирм (KUKA, SCARA) и отечественных (АГАТ, Rozumrobotics и др.) на промышленных предприятиях значительно возрос и позволяет использовать готовые решения автоматизации оборудования для оснащения МИО. Например, разработанный коллаборативный робот-манипулятор от фирмы Rozumrobotics может выполнять любые переместительные повторяющиеся операции, перекладывать грузы и может использоваться для автоматизации МИО. Такая конструкция может использоваться для всех типов и видов производств, однако сдерживающим фактором является относительно высокая стоимость, проведение конструкторско-монтажных работ и программное обеспечение.

При использовании установок МИО на машиностроительных предприятиях в технологических операциях по упрочнению поверхностей металлических изделий, режущих инструментов определенной формы, можно предложить более простые конструкторские решения загрузочных и разгрузочных устройств, работающих по требуемому циклу с релейной схемой управления, что значительно снизит их стоимость. В качестве загрузочных и разгрузочных устройств возможно использование разнообразных элементов механики: ка-

ретки с электромагнитным захватом, порталы, толкатели и т.д. Конструкция прижима изделия во время МИО должна обеспечить его надежное фиксированное положение на индукторе. Возникают значительные усилия в момент прохождения импульса (до 10 кН).

Заключение

Магнитно-импульсные технологии и оборудование актуальны на предприятиях машино-, приборо-, авиастроения, в электротехнической промышленности для получения деталей из металлов различного конструктивного исполнения (стержень – труба, стержень – лист, лист – лист, соединение метизов с корпусными деталями и др.), а также упрочнения поверхности стальных готовых деталей и изделий.

В настоящее время создан ряд экспериментальных магнитно-импульсных установок различных модификаций, цилиндрических и плоских индукторных систем. Проведен большой объем исследований влияния режимов МИО стальных изделий сферической, цилиндрической, плоской и сложной формы на их структуру, микротвердость, износостойкость.

Для повышения производительности и эффективности высокоскоростного магнитно-импульсного упрочнения инструмента и получения деталей различной формы для различных отраслей промышленности возможна разработка оборудования для осуществления конкретной технологии. Высокая степень механизации и автоматизации комплексов для упрочняющей магнитно-импульсной обработки металлических изделий различного назначения будет способствовать более широкому применению их на промышленных предприятиях Республики Беларусь и за рубежом.

Библиографический список

1. Кривоглаз, М.А. О влиянии сильных магнитных полей на фазовые переходы / М.А. Кривоглаз, В.Д. Садовский // Физика металлов и металловедение. - 1964. - Т.18, №. 4. - С. 502-505.
2. Садовский, В.Д. Магнитное поле и фазовые превращения в стали // Металловедение и термическая обработка металлов. - 1965. - № 7. - С. 16-18.
3. Малыгин, Б.В. Магнитное упрочнение инструментов и деталей машин. – М.: Машиностроение, 1998. - 130 с.
4. Калетина, Ю.В. Фазовые и структурные превращения в легированных сталях и сплавах под действием магнитного поля и термической обработки : дисс. ... док. техн. наук. Екатеринбург, 2009. - 319 с.
5. Овчаренко, А.Г. Метод повышения износостойкости металлорежущего инструмента / А.Г. Овчаренко, А.Ю. Козлюк, М.О. Курепин // Обработка металлов. – 2008. – №3. – С.161 - 163.
6. Кривонос, Ю.И. Практика освоения разработок Физико-технического института НАН Беларуси в области технологии и оборудования импульсной обработки материалов давлением / Ю.И. Кривонос, А.В. Кебец, Т.Ю. Бучик // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: Сб. научных трудов. В 2 кн. Кн. 1. Новые технологии и материалы / редколлегия: В.Г.Залесский (гл. ред.) [и др.]. — Минск: ФТИ НАН Беларуси, 2021. – С. 333 - 337.
7. Зимин, Ю.А. К вопросу стратегии развития и совершенствования кузнечно-прессового оборудования в России / Ю.А. Зимин // Кузнечно-штамповочное производство. 2000, №5. – С. 18 - 23.
8. Справочник по магнитно-импульсной обработке металлов / И.В. Белый [и др.]. – Харьков: «Вища школа», 1977. - 168 с.
9. Эффективные процессы магнитоимпульсной штамповки элементов трубопроводов систем охлаждения и обогрева автомобильной техники / Ю.И. Кривонос, А.В. Кебец, А.П. Криштоб // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: Сб. научных трудов. В 3 кн. Кн. 3. Обработка металлов давлением/ редколлегия: С.А. Астапчик (гл. ред.) [и др.]. - Минск: ФТИ НАН Беларуси, 2013. С. 71-77.
10. Минько, Д.В. Исследование технологических режимов электроимпульсного прессования и спекания порошка же-

- леза с добавкой композиционного порошка железо-олово / Д.В. Минько, К.Е. Белявин, Л.Н. Дьячкова, Ю.И. Кривонос, А.В. Кебец, Т.Ю. Бучик, С.С. Дубенец // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: Сб. научных трудов. В 3 кн. Кн. 3. Обработка металлов давлением/ редколлегия: А.В. Белый (гл. ред.) [и др.]. - Минск: ФТИ НАН Беларуси, 2018. - С. 51 - 60.
11. Алифанов, А.В. Магнитно-импульсная упрочняющая обработка материалов / А.В. Алифанов, А.М. Милюкова, А.Н. Матяс, А.А. Лях, А.И. Горчанин, О.А. Толкачева // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: Сб. научных трудов. В 2 кн. Кн. 1. Новые технологии и материалы / редколлегия: В.Г.Залесский (гл. ред.) [и др.]. — Минск: ФТИ НАН Беларуси, 2021. – С. 127- 153.
 12. Ларионов, С.Г. Роль магнитного поля и состояния режущих кромок в повышении стойкости инструмента // Металлургия машиностроения. -2015. - №4. - С. 22-24.
 13. Милюкова, А. М. Прогрессивные технологии упрочнения магнитно-импульсным воздействием металлических изделий для различных отраслей промышленности / А. М. Милюкова [и др.] // Сборник докл. симпозиума «Технологии. Оборудование. Качество» в рамках Белорусского промышленного форума 2018 (Минск, 29 мая – 1 июня 2018 г.) / В.С. Харитончик [и др.]. – Минск: Бизнесофсет, 2018. - С. 164 - 168.
 14. Алифанов, А.В. Физика процесса магнитно-импульсного упрочнения стальных изделий, расчет индукторов и параметров процесса / А.В. Алифанов, Д.А. Ционенко, А.М. Милюкова // Перспективные материалы и технологии / под общ. ред. В.В. Клубовича. - Витебск УО «ВГТУ», 2017. - Т.2. - С. 31 - 52.
 15. Алифанов, А.В. Магнитострикционный механизм образования мелкодисперсной структуры в стальных изделиях при магнитно-импульсном воздействии / А.В. Алифанов, Д.А. Ционенко, А.М. Милюкова, Н.М. Ционенко // Вес. Нац. акад. наук. Беларусі. Сер. фіз.-мат. навук. - 2016. - №4. - С. 31 - 36.

Information about the paper in English

A.M. Milyukova, A.V. Alifanov
 State Scientific Institution Institute of
 Physics and Engineering,
 the National Academy of Sciences of Belarus
 Minsk, the Republic of Belarus
 E-mail: annart@mail.ru
 Received 27.04.2021

**MAGNETIC PULSE TECHNOLOGIES FOR MANUFACTURING AND STRENGTHENING
 METALLIC PARTS**

Abstract

Magnetic pulse technologies play an important role in manufacturing and strengthening the surface of high quality parts from metallic and non-metallic materials. The designed equipment and technologies are applied not only for stamping and strengthening parts, but also for joining metallic materials, having different mechanical, physical or chemical properties, to manufacture light structures, high-strength parts and save expenses.

Keywords: magnetic pulse equipment, inducer systems, technologies, stamping, welding, strengthening.
