

ИННОВАЦИОННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОГО УПРОЧНЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Введение. Исследования воздействия магнитного поля на окружающий мир ведутся с момента открытия этого явления. Более 60 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 настоящее время в Республике Беларусь метод магнитно-импульсной обработки (далее — МИО) нашел применение для упрочнения стальных дерево- и металлорежущих и других инструментов. Ряд производственных испытаний на предприятиях Республики Беларусь и за рубежом показали, что в результате МИО разнообразные стальные инструменты, применяемые в деревообрабатывающей, машиностроительной, пищевой и других отраслях промышленности, повышают свои эксплуатационные показатели до двух раз [6].

Известно, что 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 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 магнитострикционными эффектами (в случае изделий, выполненных из магнитных материалов) [7—9].

Основная часть. В Физико-техническом институте НАН Беларуси разработан ряд экспериментальных установок для МИО, которые отличаются своими техническими характеристиками, такие как МИУ-3, МИУ-1. Однако в связи с расширением номенклатуры обрабатываемых изделий, а также в целях повышения эффективности упрочнения тугоплавких металлических сплавов методом МИО, в лаборатории магнитно-импульсных технологий разрабатываются новые, более производительные установки. В 2019 году введен в эксплуатацию полуавтоматический магнитно-импульсный пресс МИП-18, представленный на рисунке 1, с максимальной запасаемой энергией до 15 кДж.

В таблице 1 представлены технические характеристики упрочняющей магнитно-импульсной установки МИП-18. Данная установка позволяет увеличить эффективность магнитного воздействия на инструмент из коррозионно-стойких и высоколегированных марок стали. Конструкция установки с увеличенной рабочей зоной позволяет обрабатывать изделия больших размеров (580 × 580 × 700 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.



Рисунок 1 — Магнитно-импульсная установка МИП-18

Т а б л и ц а 1 — Основные технические характеристики магнитно-импульсной установки МИП-18

Основные характеристики МИУ	Показатели
Максимальная запасаемая энергия, кДж	15
Максимальное рабочее напряжение, кВ	13,3
Емкость накопителя, мкФ	180

Окончание таблицы 1

Основные характеристики МИУ	Показатели
Мощность, потребляемая установкой от сети переменного тока напряжением 220 В, частотой 50 Гц, не более ВА	3 000
Длина установки, мм	980
Ширина установки, мм	420
Высота установки, мм	1 760
Масса установки, кг	350
Производительность импульсов / мин	1—2—5

Удалось установить, что под влиянием магнитно-импульсного воздействия температура нагрева поверхности исследуемых образцов сплавов растет с увеличением энергии МИО от 4 до 10 кДж. При одинаковой энергии 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 со стальным столом, на котором устанавливают необходимые для создания магнитного поля индукторные системы (рисунок 2).

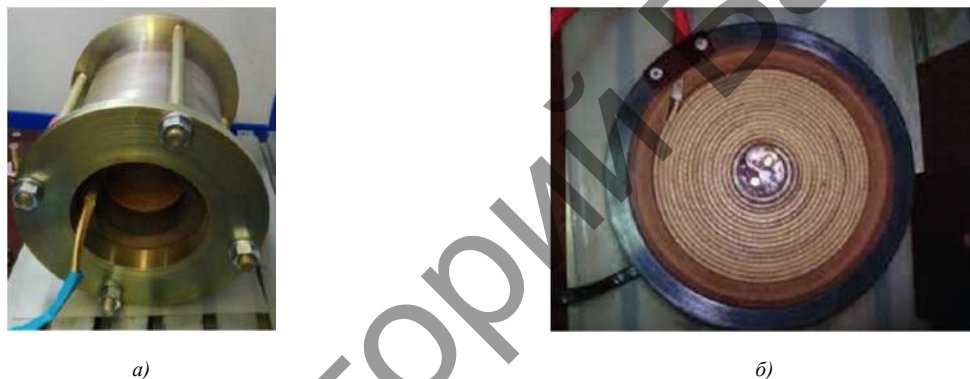


Рисунок 2 — Индукторные системы для МИО материалов: цилиндрический индуктор (а); плоский индуктор (б)

Обрабатываемое изделие любой формы (сферической, цилиндрической, плоской) помещают в индуктор, надежно закрепляют, включают и программируют установку, проводят МИО при определенном технологическом режиме, после чего упрочненное изделие извлекают из индуктора.

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. В целях 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.

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 (*KUKA, SCARA*) и отечественных фирм (*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 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: каретки 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).

Изучены конструкции гидравлических, пневматических, механических и комбинированных прижимных устройств. По возможности узел механизма прижима детали не должен создавать помех при работе и перемещении упрочняемого изделия. Разработана конструкция и изготовлено прижимное устройство для фиксации изделия (ножа) на плоском индукторе для МИП-18. Прижимное устройство крепится к верхней панели установки и передвигается при помощи электропривода в вертикальном направлении.

Заключение. Разработано оборудование для повышения производительности и эффективности магнитно-импульсного упрочнения инструмента и деталей различной формы для различных отраслей промышленности. Рассмотрены основные тенденции и требования к конструкции при автоматизации и механизации установок для магнитно-импульсного упрочнения металлических изделий. Предложены некоторые направления разработки компоновок конструкции в зависимости от типа изделия и требований к производительности процесса упрочнения. Высокомеханизированные и автоматизированные комплексы для упрочняющей МИО металлических изделий различного назначения будут способствовать более широкому применению их на промышленных предприятиях Республики Беларусь и за рубежом.

Список цитируемых источников

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 / В. Д. Садовский // *Металловедение и терм. обработка металлов*. — 1965. — № 7. — С. 16—18.
3. *Мальгин, Б. В.* Магнитное упрочнение инструментов и деталей машин / Б. В. Мальгин. — 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: дис. ... д-ра техн. наук / Ю. В. Калетина. — 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. *Ларионов, С. Г.* Роль магнитного поля и состояния режущих кромок в повышении стойкости инструмента / С. Г. Ларионов // *Металлургия машиностроения*. — 2015. — № 4. — С. 22—24.
7. Прогрессивные технологии упрочнения магнитно-импульсным воздействием металлических изделий для различных отраслей промышленности / А. М. Милокова [и др.] // *Технологии. Оборудование. Качество: сб. докл. Междунар. симпозиума в рамках Белорус. промышл. форума, Минск, 29 мая — 1 июня 2018 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. нац. тех. ун-т*. — Минск: Бизнесофсет, 2018. — С. 164—168.
8. *Алифанов, А. В.* Физика процесса магнитно-импульсного упрочнения стальных изделий, расчет индукторов и параметров процесса / Ф. В. Алифанов, Д. А. Ционенко, А. М. Милокова // *Перспективные материалы и технологии / под общ. ред. В. В. Клубовича*. — Витебск: ВГТУ, 2017. — Т. 2. — С. 31—52.
9. Магнитострикционный механизм образования мелкодисперсной структуры в стальных изделиях при магнитно-импульсном воздействии / А. В. Алифанов [и др.] // *Вестн. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. физ.-мат. наук*. — Минск: ФТИ НАН Беларуси, 2016. — № 4. — С. 31—36.