

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ НА МИКРОТВЕРДОСТЬ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБРАЗЦОВ ИЗ СТАЛИ ШХ15

Алифанов А.В., Чудакова И.Л.

*Физико-технический институт НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь,  
[alifanov\\_aav@mail.ru](mailto:alifanov_aav@mail.ru)*

Использование магнитного поля для улучшения свойств конструкционных и инструментальных сталей обсуждалось еще в начале 20-ого века в работах Е. Герберта. [1]. Последующие годы характеризуются периодами повышения и спада интереса к этой проблеме, что объясняется отсутствием систематического многопланового подхода и слабым развитием теории. На сегодняшний день энергию внешнего магнитного поля (постоянного, переменного, импульсного) используют для разнообразных целей:

- формообразование (гибка, вытяжка, правка, рельефная штамповка, раздача, обжим, рихтовка);
- сборка (соединение металлических деталей с керамикой, стеклом, пластмассой и др. неметаллическими материалами);
- сварка трубчатых заготовок;
- термообработка.

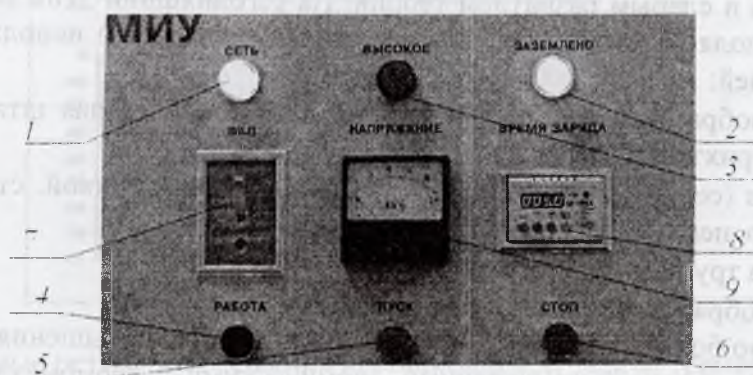
Известно большое количество способов и средств повышения ресурса режущего инструмента физико-химическими, термическими и термомеханическими методами (плазменное напыление, нитроцементация, никелирование, хромирование, ВТМО и др.). По сравнению с ними упрочнение на основе метода магнитно-импульсной обработки (МИО) обладает рядом преимуществ: простота технологической оснастки, отсутствие передаточной среды при формообразовании, возможность легкой автоматизации, низкая себестоимость обработки [2]. Однако этот метод не нашел широкого применения на практике из-за сложности и недостаточной изученности механизмов и эффектов, сопровождающих процессы упрочнения поверхностных слоев изделий, что затрудняет получить упрочненную деталь с заранее заданными свойствами в условиях высоких скоростей энергетического воздействия.

Целью настоящей работы является проверка эффективности способа упрочнения импульсным магнитным полем стальных изделий цилиндрической формы и изучение его влияния на структуру и механические свойства образцов. Оптимизирующими факторами процесса являются мощность импульсов магнитного поля и их количество, а критерием эффективности обработки – микротвердость полученных образцов.

Магнитно-импульсная обработка осуществлялась на установке МИУ СФТ 9.120.00.00.000, разработанной и изготовленной в Физико-техническом институте НАН Беларуси. Магнитно-импульсное упрочнение деталей основано на взаимодействии импульсного магнитного поля с металлической заготовкой, в связи с чем установка для магнитно-импульсной обработки металлов представляет собой генератор импульсного тока (ГИТ), состоящий из емкостного накопителя электрической энергии — высоковольтной конденсаторной батареи, рабочего органа — индуктора и коммутирующего устройства — высоковольтного управляемого разрядника. С помощью разрядника производится разряд конденсаторной батареи на индуктор. Максимально запасаемая энергия ГИТ – 6,8 кДж.

В результате взаимодействия токов индуктора и заготовки возникают мощные механические усилия, оказывающие давление как на заготовку, так и на индуктор. Под действием давления повышаются прочностные характеристики заготовки.

Для управления зарядом и разрядом накопителя имеется специальное устройство, которое включает в себя схему управления, использующую реле времени ВЛ-159М, а также исполнительные устройства, которые позволяют устанавливать режим обработки изделия, то есть задавать определенную энергию и форму импульса с помощью программируемого реле. Это дает возможность использовать установку МИУ для проведения научных исследований с целью определения оптимальных режимов упрочняющей обработки для каждого конкретного изделия, отличающегося маркой стали, формой и размерами. На рисунке 1 изображена панель управления установки.



1- световой индикатор «СЕТЬ»; 2- световой индикатор «ЗАЗЕМЛЕНО»; 3- световой индикатор высокого напряжения «ВЫСОКОЕ»; 4- кнопка «РАБОТА» – задание рабочего режима; 5- кнопка «ПУСК» – включение заданного режима обработки; 6- кнопка «СТОП» – выключение рабочего режима; 7- автомат включения установки «ВКЛ.»; 8- управляющее реле времени ВЛ-159М «ВРЕМЯ ЗАРЯДА»; 9- киловольтметр «НАПРЯЖЕНИЕ».

Рис. 1. Панель управления установки

С использованием программируемого реле времени ВЛ-159М выбирается тип функциональной диаграммы и устанавливается необходимое время выдержки в соответствии с таблицей 1. Поджиг и разряд происходит автоматически по установленным режимам, в результате чего осуществляется обработка упрочняемой детали.

Таблица 1. Зависимость запасаемой энергии от времени выдержки

Время, с	1	2	3	4	5	6	7	8	8,5
Напряжение, В	1400	2400	3300	3900	4400	4800	5100	5400	5500
Энергия, Дж	440	1300	2450	3400	4360	5180	5850	6560	6800

Ранее в ФТИ НАН Беларуси были проведены исследования влияния режимов МИО на прочностные характеристики стальных изделий сферической формы (шарики шарикоподшипников, сталь ШХ-15), которые показали увеличение прочности обработанных магнитно-импульсным полем шариков при их сжатии до разрушения на 25-30 %. [5]

В данной работе объектом исследований являлись цилиндрические образцы из прутковой стали ШХ-15 диаметром 10 мм длиной 8 мм. Образцы были изготовлены

из одного калиброванного прутка диаметра 12 мм, причем при подготовке образцов снимался обезуглероженный поверхностный слой глубиной 1 мм.

Магнитно-импульсная обработка образцов производилась в следующей последовательности: загрузка образцов в индуктор, выбор режимов обработки, воздействие на образцы импульсного магнитного поля, снятие обработанных образцов и последующая выдержка в течение 24 часов. Выдержка образцов после обработки необходима для завершения внутренних процессов, связанных с рассеянием электромагнитной энергии в материале.[1]

Для проведения эксперимента была выбрана максимальная для данной установки энергия разряда с целью достижения значительного упрочняющего эффекта, а изменяемым параметром являлось количество импульсов. Комбинация режимов представлена в таблице 2.

Таблица 2. Режимы обработки образцов

№ образца	Энергия, Дж	Количество импульсов
1	6560	2
2	6560	3
3	6560	4
4	6560	5
5	6560	6
6	6560	7
7	6560	8
8	6560	9

В ходе проведения эксперимента проводились измерения микротвердости в поперечном сечении образца по его диаметру. Микротвердость измерялись твердометром ПМТ-3 по общепринятой методике в соответствии с ГОСТ 9450-60.

На рисунке 2 в графическом виде представлено распределение микротвердости по глубине от поверхности образцов, обработанных при заданной мощности и количестве импульсов. В связи с тем, что наиболее заметное повышение микротвердости было выявлено на образцах 5-7, именно эти значения приведены на рисунке 2.

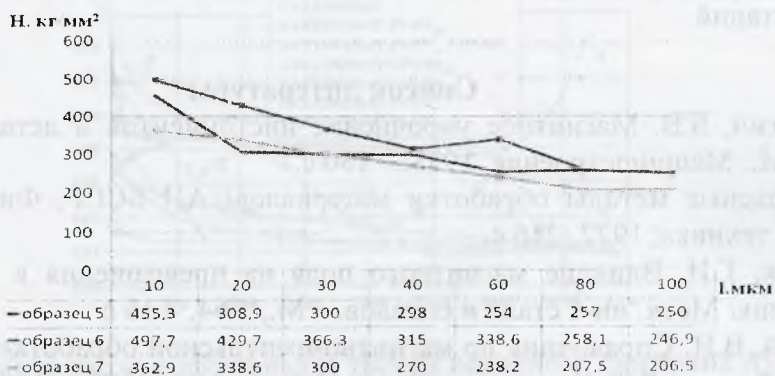


Рис. 2. Распределение микротвердости по глубине от поверхности образцов

Среднее значение микротвердости образцов до обработки составляло 240 кг/мм<sup>2</sup>. Анализ представленных зависимостей показывает, что микротвердость

обработанных образцов увеличилась на 40-50 %. Глубина упрочненного слоя составляет 80-100 мкм.

На рисунке 3 представлена фотография шлифа образца 7 после магнитно-импульсной обработки. На ней четко видно увеличение отпечатка индентора при удалении от края образца, что свидетельствует об уменьшении микротвердости стали.



Рис. 3. Микроструктура образца 7 с отпечатками индентора (x 500)

Проведенные исследования показывают эффективность упрочнения стальных изделий магнитно-импульсной обработкой. Механизм упрочнения включает в себя много различных факторов (электрических, магнитных, деформационных, магнито-стрикционных и др.) в результате суммарного воздействия которых вещество изменяет свои физические, химические и механические свойства. Взаимодействие импульсного магнитного поля с деталью из токопроводящего материала происходит тем интенсивнее, чем выше структурная и энергетическая неоднородность материала. Поэтому, чем выше концентрация поверхностных и внутренних напряжений в металлических деталях, тем больше вероятность локальной концентрации в них микровихрей внешнего поля, которые нагревают участки вокруг кристаллов напряженных блоков и неоднородностей структуры металла. Градиент теплового потока при МИО тем выше, чем менее однородна структура металла. После обработки микроструктура сплава улучшается, что ведет за собой и изменение физических и механических характеристик вещества. Сказанное подтверждается результатами проведенных испытаний.

#### Список литературы

1. Малыгин, Б.В. Магнитное упрочнение инструментов и деталей машин/Б.В. Малыгин. – М.: Машиностроение, 1998. – 130 с.
2. Импульсные методы обработки материалов/ АН БССР, Физ.-техн. ин-т. – Мн.: Наука и техника, 1977.-216 с.
3. Граник, Г.И. Влияние магнитного поля на превращения в некоторых сталях/Г.И. Граник/ Моск. ин-т стали и сплавов. – М.,1964. – 16 с.
4. Белый, В.И. Справочник по магнитно-импульсной обработке металлов/ В.И. Белый, С.М. Фертик, Л.Т. Хименко. – Киев : Вища школа, 1977. – 168 с..
5. Алифанов, А.В. Магнитно-импульсная упрочняющая обработка металлических изделий/ А.В. Алифанов//Технология ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, инструмента и технологической оснастки : материалы IX Междунар. науч.-практ. конф., Санкт-Петербург, 10-13 апр. 2007. – Ч. 2. – С. 9-15.