

УДК 621.373:621.3.014.12

А. В. Алифанов¹, И. А. Богданович¹, А. А. Лях², В. В. Малеронок¹

¹Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Министерство образования Республики Беларусь, ул. Войкова, 21, 225404 Барановичи, Республика Беларусь, +375 (29) 352 71 81, alifanov_aav@mail.ru

²Государственное научное учреждение «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси», ул. Купревича, 10, 220004 Минск, Республика Беларусь

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТАЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ ПОСЛЕ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ

Исследовано влияние частоты переменного тока и режимов магнитно-импульсной обработки стальных образцов на величину напряжения тока, проходящего через скин-слой.

Ключевые слова: стальные образцы; токи высокой частоты; скин-слой; магнитно-импульсная обработка; напряжение тока.

Рис. 5. Библиогр.: 4 назв.

A. V. Alifanov¹, I. A. Bogdanovich¹, A. A. Lyah², V. V. Maleronok¹

¹Baranovichi State University, the Ministry of Education of the Republic of Belarus, 21 Voykova Str., 225404 Baranovichi, the Republic of Belarus, +375 (29) 352 71 81, alifanov_aav@mail.ru

²Physical-and-Technical Institute of the National Academy of Sciences of Belarus, 10 Kuprevicha Str., 220004 Minsk, the Republic of Belarus

STUDY OF ELECTROPHYSICAL PROPERTIES OF STEEL SAMPLES AFTER MAGNETIC-IMPULSE TREATMENT

The influence of frequency of alternating current, that passes through the skin layer, and modes of magnetic-impulse treatment of steel samples on the voltage value is investigated.

Keywords: steel samples; high-frequency currents; skin layer; magnetic-impulse treatment; voltage.

Fig. 5. Ref.: 4 titles.

Введение. Под воздействием магнитно-импульсной обработки (МИО) на поверхности стального изделия образуется упрочненный слой толщиной до 70 мкм и более. В этом слое устраняются дефекты в кристаллической решетке, выравниваются внутренние напряжения, измельчается и становится более однородной структура металла [1].

Анализ физико-механических свойств материала, подвергнутого высокоэнергетическому воздействию, можно проводить различными методами как разрушающего, так и неразрушающего контроля, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки. К числу наиболее существенных недостатков можно отнести следующее: применение дорогостоящего лабораторного оборудования и значительные затраты времени как на проведение самого исследования, так и в процессе подготовки к нему [2; 3].

Для исследования влияния параметров МИО на упрочняющий эффект металлических образцов предлагается более простой и удобный в использовании метод исследования свойств упрочненного слоя стальных изделий, основанный на проявлении скин-эффекта при прохождении через металлический образец тока высокой частоты. Скин-эффект, или поверхностный, — эффект уменьшения амплитуды электромагнитных волн по мере их проникновения в глубь проводящей среды. В результате этого эффекта переменный ток высокой частоты при протекании по проводнику распределяется не равномерно по сечению,

а преимущественно в поверхностном слое. А так как при магнитно-импульсном упрочнении происходит воздействие именно на верхние слои изделия, то анализ данного эффекта позволит говорить о качестве упрочнения (однородность, мелкодисперсность).

Основная часть. Методика проведения экспериментов. Исследования проводились на электроизмерительном комплексе, разработанном и изготовленном в ФТИ НАН Беларуси с использованием метода исследования скин-слоя, образующегося при протекании токов высокой частоты (ТВЧ) (метод и схема устройства разработаны в БарГУ) [4].

Комплекс состоит из трех частей: одна предназначена для генерирования ТВЧ с целью создания в стальном образце скин-слоя, вторая часть — для генерирования постоянного тока и измерения напряжения при прохождении тока через скин-слой. Через напряжение расчетным путем можно выйти на электросопротивление скин-слоя. Третья часть представляет собой измерительную ячейку для установки опытного стального образца.

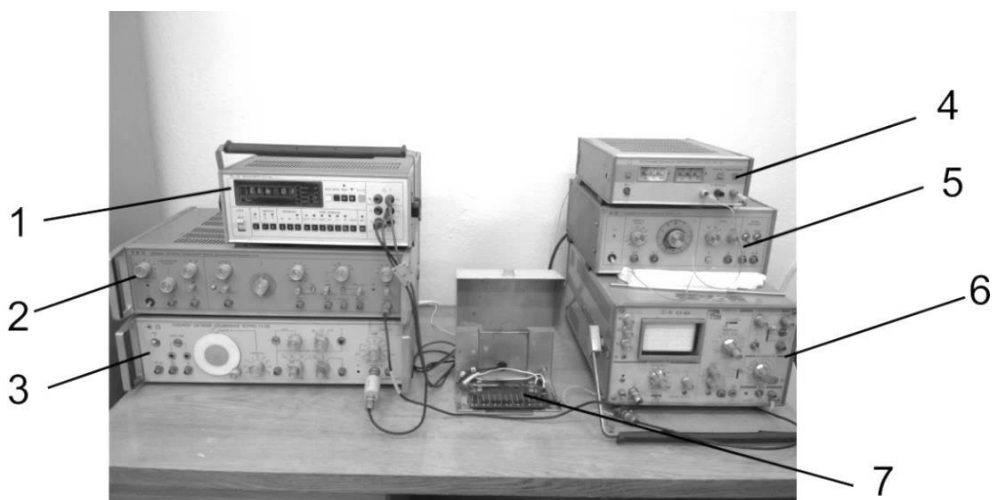
Представим электроизмерительный комплекс для исследования влияния режимов МИО на напряжение, возникающее в скин-слое при прохождении ТВЧ (рисунок 1). Для генерирования ТВЧ служат генератор сигналов специальной формы Г6-28 и генератор сигналов специальной формы Г6-34, для создания постоянного тока — источник питания постоянного тока Б5-43. Для проведения измерений используются вольтметр В7-46 и осциллограф С1-65.

Для проведения исследований были изготовлены образцы из стали 40Х (без термообработки и с термообработкой — закалкой) диаметром 10 мм и длиной 100 мм, а также использовались металлорежущие сверла из стали Р6М5 (закаленные) с такими же размерами.

Измерительная ячейка (рисунок 2) служит для определения электрических параметров образца 3, который устанавливается в специальные зажимы 2.

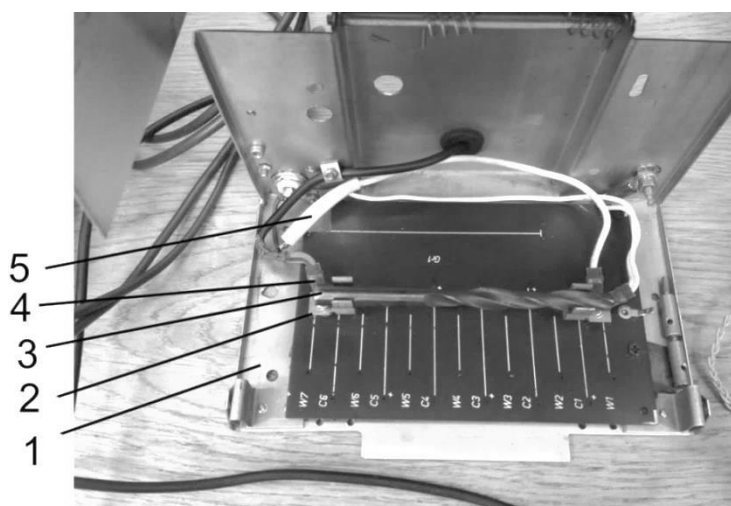
При проведении исследований менялась частота переменного тока от 1 МГц до 0,05 МГц и, соответственно, толщина скин-слоя, а также изменялись энергия и количество импульсов, и определялось их влияние на величину напряжения в скин-слое.

Представлены результаты исследований влияния частоты переменного тока, толщины скин-слоя, энергии и количества импульсов на величину напряжения в скин-слое (рисунки 3—5).



1 — генератор сигналов специальной формы Г6-28; 2 — генератор сигналов специальной формы многофункциональный — Г6-34; 3 — вольтметр В7-46; 4 — источник питания постоянного тока Б5-43; 5 — генератор сигналов специальной формы Г6-37; 6 — осциллограф С1-65; 7 — измерительная ячейка

Рисунок 1 — Электроизмерительный комплекс для исследования влияния режимов МО на электросопротивление



1 — заземленный корпус; 2 — зажим; 3 — образец; 4 — контакт для подвода тока высокой частоты; 5 — подводящие и измерительные провода

Рисунок 2. — Измерительная ячейка для определения электрических параметров образцов

Приведены результаты исследований образцов из стали 40Х, как закалённых, так и незакалённых, при следующих режимах: энергия 4 кДж, количество импульсов от 1 до 10 (см. рисунок 3) и энергия 6 кДж, количество импульсов от 1 до 10 (см. рисунок 4).

Из рисунков видно, что в незакалённых образцах напряжение в скин-слое приближается к нулю и почти не зависит от толщины скин-слоя. Это можно объяснить тем, что в незакалённых образцах содержится мало различных дефектов (искажений кристаллической решетки, остаточных напряжений и др.) и, следовательно, эффект воздействия МИО сводится к минимуму (как известно, при МИО устраняются внутренние дефекты). При осуществлении термообработки происходит искривление кристаллических решеток и возникают другие дефекты, за счет чего увеличивается электросопротивление токопроводящего слоя, что и наблюдается на рисунках 3 и 4. Причем, толщина скин-слоя также влияет на величину напряжения: с увеличением толщины уменьшается электросопротивление и наоборот. В соответствии с изменениями электросопротивления изменяется и напряжение тока в скин-слое.

Увеличение энергии и количества импульсов приводит к уменьшению напряжения, что можно объяснить повышением температуры до определенных величин, при которых улучшается структура металла. Превышение определенной температуры приводит к обратному эффекту — увеличению зернистости структуры и, соответственно, повышению электросопротивления скин-слоя и напряжения тока.

На рисунке 5 отображено влияние энергии и количества импульсов при МИО стальных закаленных сверл из стали Р6М5 на величину напряжения в скин-слое. Величина энергии импульса составляла во всех экспериментах 10 кДж, а число импульсов менялось от 1 до 10. Частота тока менялась от 1 МГц до 0,005 МГц, а толщина скин-слоя увеличивалась, соответственно, от 23 до 318 мкм.

Видно (см. рисунок 5), что напряжение, а следовательно, и электросопротивление скин-слоя сначала резко падает с ростом количества импульсов, а затем постепенно возрастает, причем при 7-8 импульсах интенсивно, после чего опять начинает уменьшаться. Установлено также, что с уменьшением частоты тока от 1 МГц до 0,005 МГц глубина скин-слоя увеличивается от 23 мкм до 318 мкм, а напряжение в начале эксперимента (до обработки МИО) уменьшается от 16,73 мВ до 5,195 мВ (частота изменяется при этом от 1 МГц до 0,005 МГц), а в конце (10 импульсов), напряжение уменьшается от 15,368 мВ до 2,733 мВ (частота также меняется от 1 до 0,005 МГц).

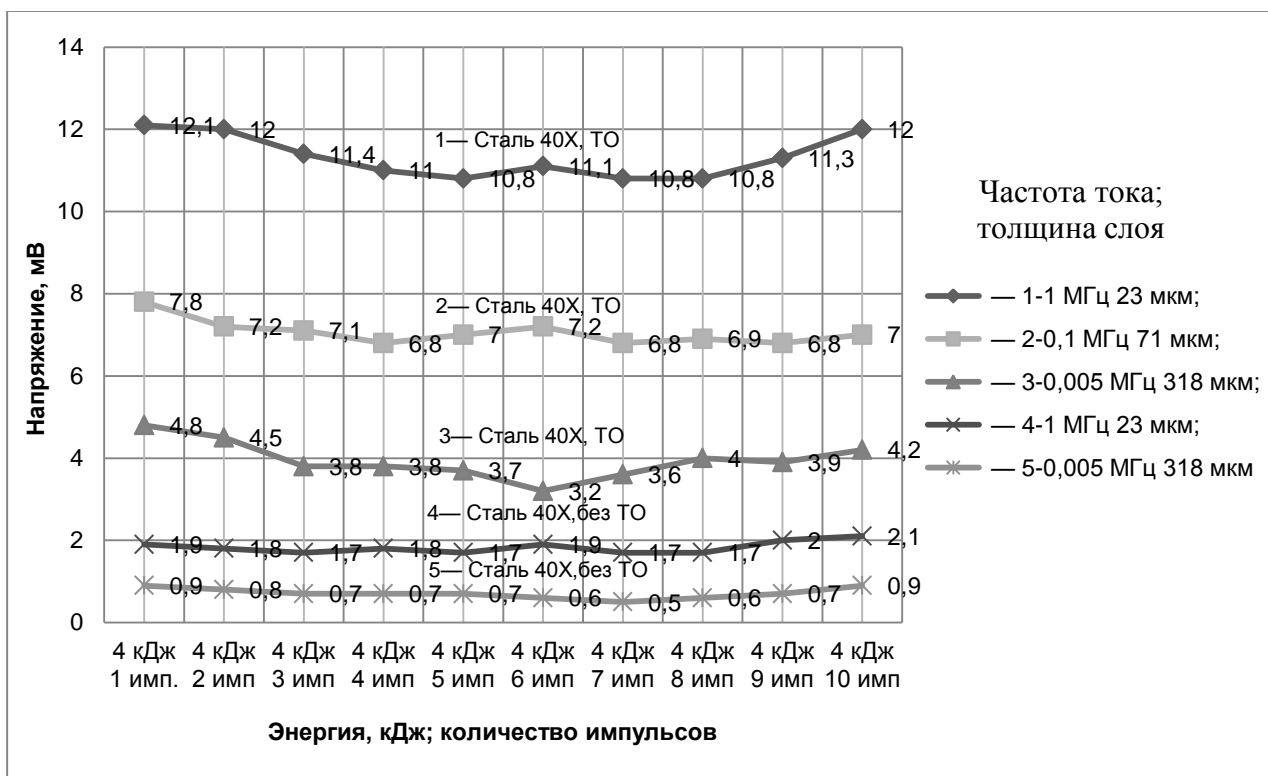


Рисунок 3. — Влияние частоты тока, энергии и количества импульсов при обработке образцов на величину напряжения в скин-слое (материал образца — сталь 40X)

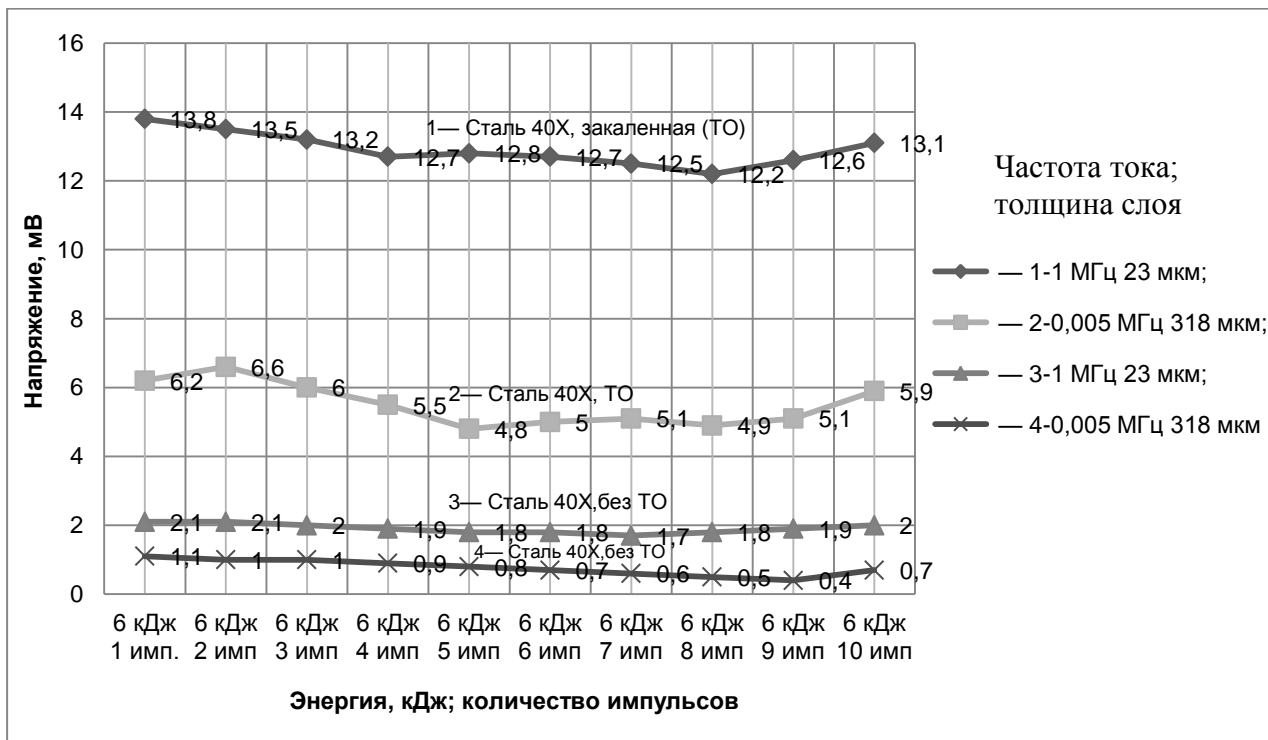


Рисунок 4. — Влияние частоты тока, энергии и количества импульсов при обработке образцов на величину напряжения в скин-слое (материал образца — сталь 40X)

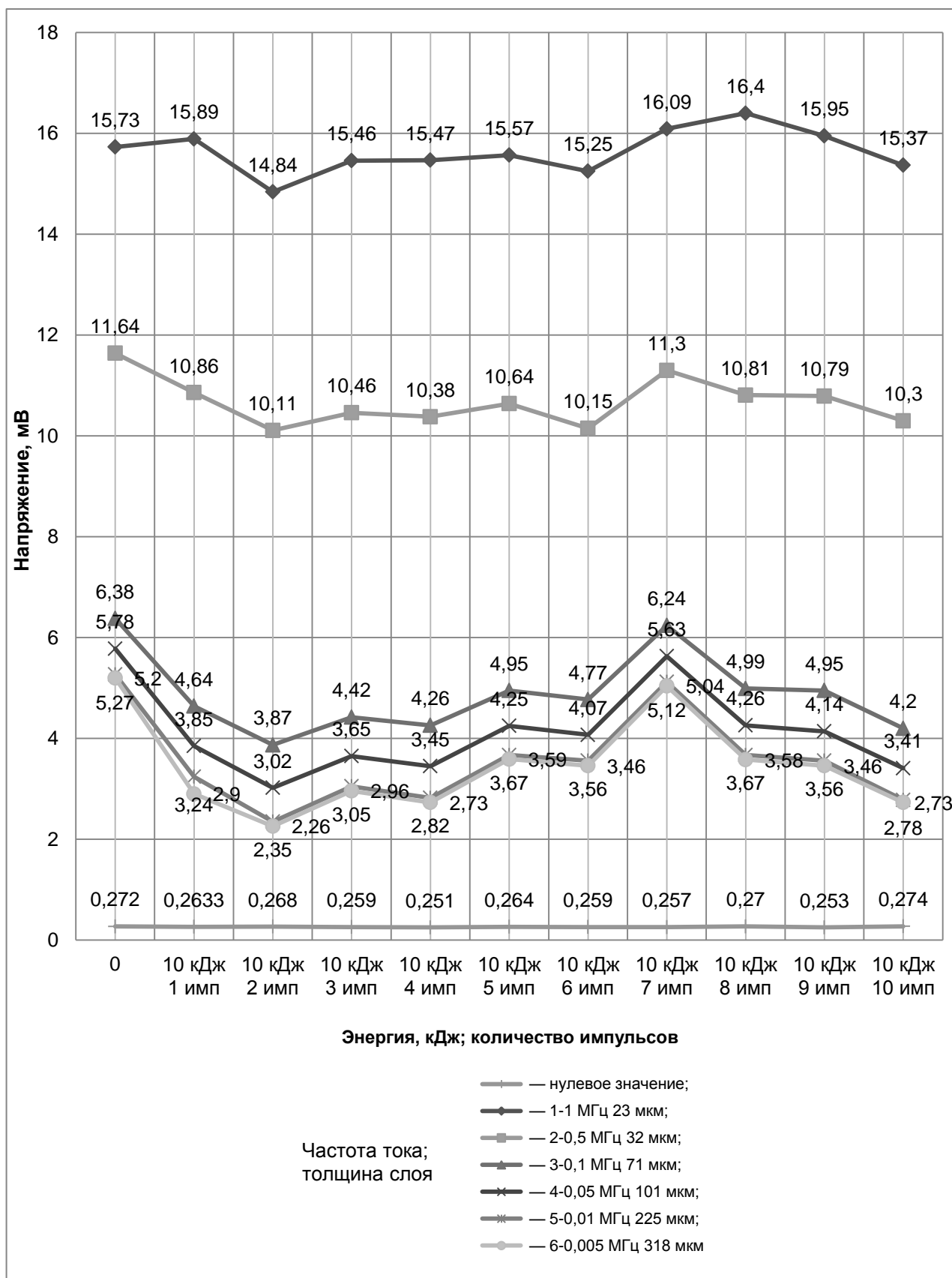


Рисунок 5. — Влияние энергии и количества импульсов при МИО образцов из стали Р6М5 на величину напряжения в скин-слое

Характер изменений величины напряжения с увеличением количества импульсов (см. рисунок 5), имеет более сложный характер, чем на рисунках 3 и 4 (для закаленных стальных образцов из стали 40X). Это можно объяснить тем, что поверхность сверл имеет гораздо более сложный вид, чем у цилиндрических образцов, и, кроме того, сверла обладают острыми кромками. Значит, исследования со сверлами и другими подобными инструментами (метчиками, развертками, зенкерами, фрезами и т. п.) необходимо продолжить.

Заключение. Предложен метод исследования электрофизических свойств стальных образцов, основанный на появлении скин-эффекта при прохождении тока высокой частоты (ТВЧ). С помощью данного метода проведены исследования влияния режимов МИО закаленных и незакаленных образцов из стали 40X, а также сверл из стали Р6М5 на величину напряжения тока, проходящего через скин-слой, с целью определения структурной неоднородности этого слоя. Установлено, что с ростом энергии и числа импульсов напряжение тока сначала уменьшается (в случае сверл — довольно резко), а затем постепенно возрастает, что объясняется повышением температуры в образцах до определенных величин, при которых улучшается структура металла. Превышение определенной температуры приводит к обратному эффекту — увеличению зернистости и неоднородности структуры и, соответственно, повышению электросопротивления скин-слоя и напряжения тока.

Список цитируемых источников

1. Магнитно-импульсная упрочняющая обработка изделий из конструкционных и инструментальных сталей / А. В. Алифанов [и др.] // *Литье и металлургия*. — 2012. — № 3. — С. 77—82.
2. Экспериментальные методы исследования деформаций и напряжений. — Киев : Наук. думка, 1981. — 584 с.
3. *Кане, М. М.* Основы научных исследований в технологии машиностроения / М. М. Кане. — Минск : Выш. шк. — 1987. — 231 с.
4. *Алифанов, А. В.* Исследование влияния магнитно-импульсной обработки поверхностного слоя стальных образцов на их физико-механические свойства / А. В. Алифанов, И. А. Богданович, В. В. Малеронок. — Вестн. БарГУ. Сер. Технические науки. — 2017. — Выпуск 5. — С. 18—24.

Поступила в редакцию 05.04.2018