

---

## ИЗ ОПЫТА РАБОТЫ

---

М.М. Сусан\*, П.Г. Думитраш

### ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ МАГНИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОВОЛОКИ, ВОЛОЧЕННОЙ В УЛЬТРАЗВУКОВОМ ПОЛЕ

*Ясский технический университет – Румыния\*,  
Бул. Димитрие Манжерон, 59, г. Яссы, 6600, Румыния  
Институт прикладной физики,  
ул. Академией, 5, г. Кишинев, МД-2028, Молдова*

#### **Введение**

В процессе получения проволоки из железомангнитных материалов путем холодной вытяжки благодаря нагортаниванию изменяются магнитные характеристики и цикл гистерезиса.

Таким образом, коэрцитивная сила ( $H_c$ ) и цикл гистерезиса возрастают равномерно со степенью нагортанивания, а магнитная проницаемость ( $\mu$ ) и остаточная индукция ( $B_{mo}$ ) уменьшаются вместе с увеличением упрочнения под воздействием усилия вытяжки [1].

Авторы [2, 3] продемонстрировали, что наведенные механические напряжения (остаточные) ведут к увеличению коэрцитивного поля частиц прямо пропорционально с их увеличением и обратно пропорционально с магнетизацией (индукцией) насыщения. Названная магнетизация и внутренняя индукция не распределены равномерно по всей поверхности материала, но для практических случаев считается, что распределение равномерное [3].

Внутренняя индукция – это составная часть нормальной индукции, максимальная величина которой ( $B_m$ ), будучи характеристикой железомангнитного материала, зависит от химического состава [3].

Цикл гистерезиса, составленный для данного железомангнитного материала, определяет в основном его магнитные характеристики.

В данной работе нами предлагается сравнительные исследования модификации магнитных характеристик волооченных подшипниковых проволок с ультразвуком и без него (классический процесс вытяжки) в сравнении с отожженным состоянием (проволока – полуфабрикат).

Волочение в ультразвуковом поле реализовалось с помощью колебательных систем с размерами  $n \cdot \lambda/2$  с волокой, находящейся в максимуме колебания волн и активированной параллельно с направлением вытяжки магнитострикционным преобразователем частотой резонанса 17800 Гц при помощи ультразвукового генератора УЗГ 2-4 М, мощностью 2500 Вт.

Принципиальная упрощенная схема колебательной системы представлена на рис. 1. Рабочий цилиндрический ступенчатый концентратор из сплавов титана ВТ-3, с фактором увеличения амплитуды  $(D/d)^2 = 3,20$ , обеспечивает близкий контакт поверхности большого диаметра ( $D$ ) с коническим концентратором магнитострикционного преобразователя типа ПМС15А-18, а в торце маленького диаметра ( $d$ ) запрессована волока.

#### **Метод и результаты исследования**

Для экспериментального исследования изменения некоторых магнитных характеристик волооченных подшипниковых проволок с воздействием ультразвука и без него в сравнении в отожженной (проволока полуфабрикат), таких как коэрцитивное поле, максимальная и остаточная магнетизация, использовался прибор, сконструированный специально для этой цели [4], который работает совместно с осциллографом. Принципиальная схема реализованного прибора показана на рис. 2 [4].

Эксперименты были выполнены совместно со специалистами факультета физики Ясского Университета им. А.И. Кузы. Была использована система по сбору данных, которая обеспечивает передачу их с помощью компьютера с использованием адекватного софта, после предварительного эталонирования установки [5]. В этом плане были приготовлены образцы из проволоки:  $l = 65 \text{ мм} \times 3,80 \text{ мм}$  ( $D_0$ ) в отлаженном состоянии и соответственно  $l = 65 \text{ мм} \times 3,63 \text{ мм}$  ( $D_1$ ), пластически деформированные через вытяжку соответственно условиям, указанным в таблице. Эталонирование проводилось с использованием образцов из никеля, с теми же размерами, как и для исследуемой проволоки.

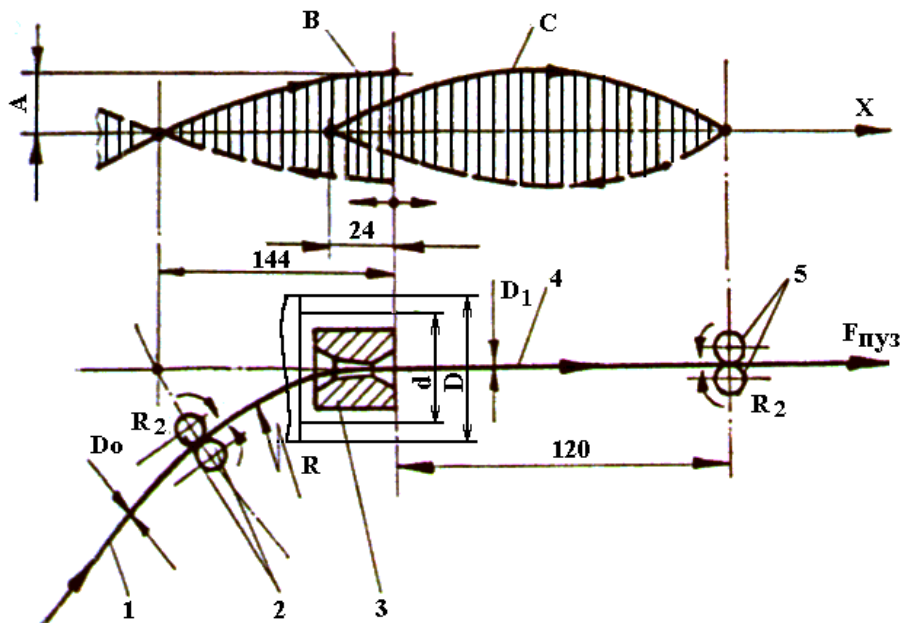


Рис. 1. Схема колебательной системы, использованной для волочения подшипниковой проволоки [4]: 1 – проволока-полуфабрикат; 2 и 5 – отражатели ультразвуковой энергии; 3 – волока; 4 – волоченная проволока; A – амплитуда колебаний волоки; B и C – энтропа амплитуды колебания проволоки.

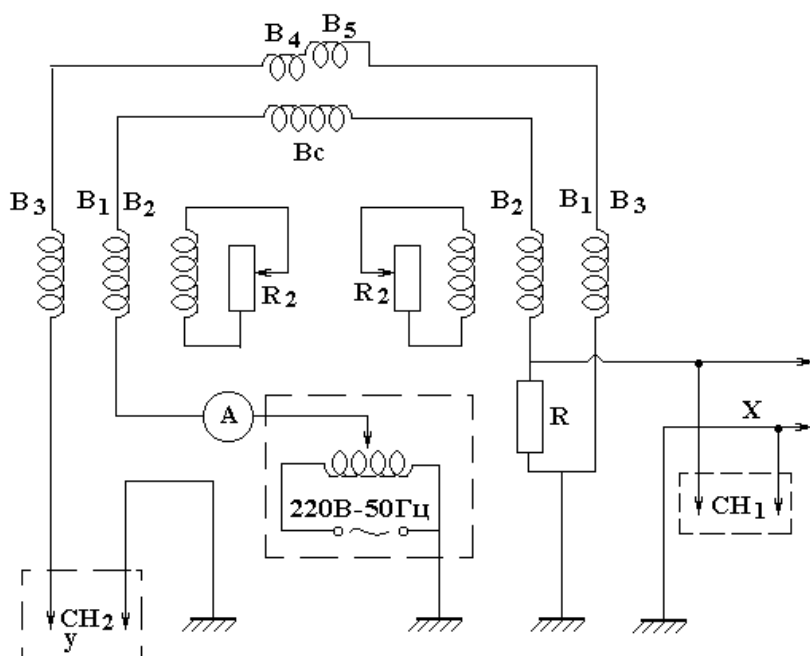


Рис. 2. Принципиальная схема прибора, для определения магнитных характеристик.

Величина магнитных характеристик исследованных образцов ( $B_m$ ,  $B_{mo}$ ,  $H_c$ ), определенных вдоль оси проволоки и учтенных с помощью цикла гистерезиса, сконструированного для каждого образца отдельно, представлены на рис. 3–7 и 8 и соответственно в таблице.

Для начертания кривых гистерезиса одновременно сигналы от осциллографа для входов X и Y были применены каналы CH<sub>1</sub> и CH<sub>2</sub> для систем по сбору данных (см. рис. 2).

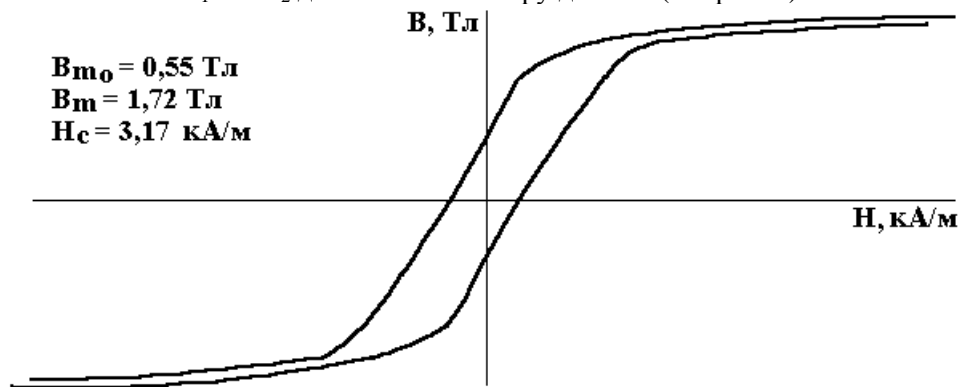


Рис. 3. Цикл гистерезиса для подшипниковой проволоки в отожженном состоянии.

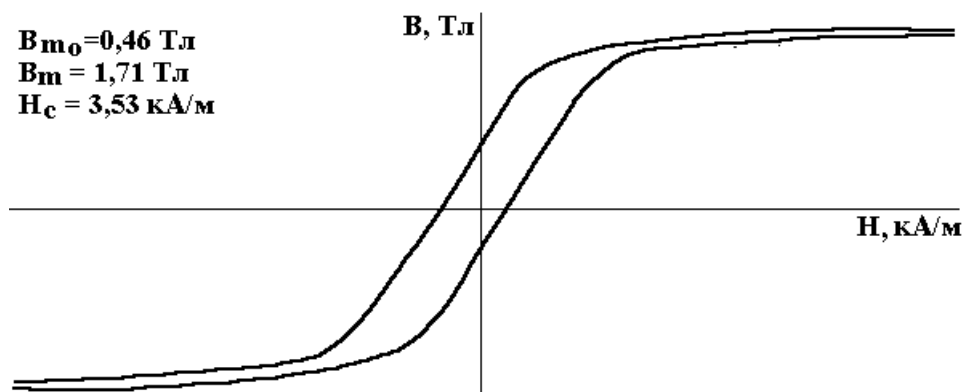


Рис. 4. Цикл гистерезиса для подшипниковой проволоки, волооченной в ультразвуковом поле:

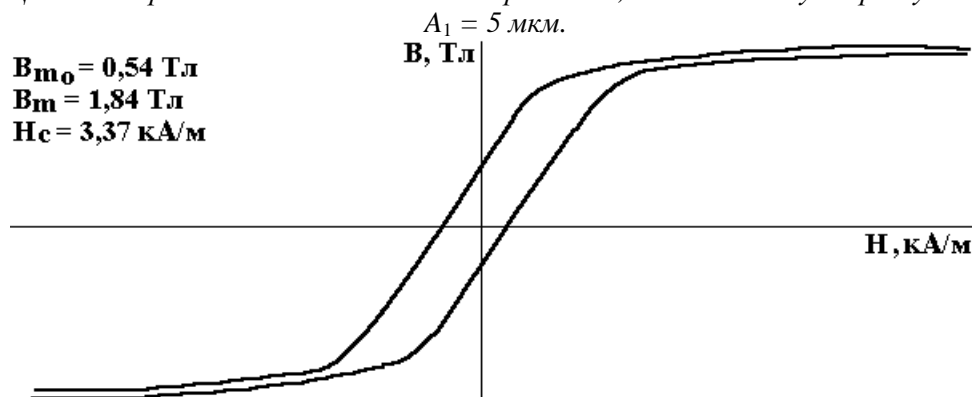


Рис. 5. Цикл гистерезиса для подшипниковой проволоки, волооченной в ультразвуковом поле:

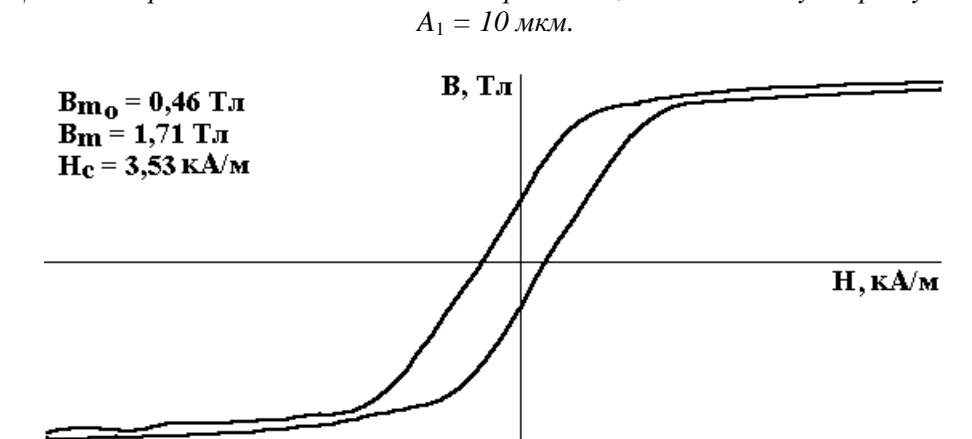


Рис. 6. Цикл гистерезиса для подшипниковой проволоки, волооченной в ультразвуковом поле:

$A_1 = 15$  мкм.

Номер образца	Ультразвуковые параметры			Параметры процесса волочения						Магнитные характеристики			
	$f$ , Гц	$A$ , мкм	$V_V$ , м/с	$D_0$ , мм	$D_1$ , мм	$V_{вол}$ , м/с	$\delta$ , %	$V_{вол}/V_V$	$\alpha$ , °	$B_m$ , Тл	$B_{m_0}$ , Тл	$B_m/B_{m_0}$	$H_c$ , кА/м
0	–	–	–	3,80	–	–	–	–	–	1,72	0,55	3,12	3,17
1	17500	10	1,09	3,80	3,36	0,33	22	0,30	9	1,71	0,46	3,71	3,53
2	17500	15	1,64	3,80	3,36	0,33	22	0,20	9	1,84	0,54	3,40	3,37
3	17500	20	2,19	3,80	3,36	0,33	22	0,15	9	1,74	0,55	3,16	3,25
4	–	–	–	3,80	3,36	0,33	22	–	9	1,70	0,45	3,77	3,65

*Примечание: 0 – отожженные образцы; 1 – 3 – образцы, волоченные в ультразвуковом поле; 4 – образцы, волоченные по классическому методу;  $f$  – резонансная частота;  $A$  – амплитуда колебаний волокна;  $V_V$  – максимальная скорость колебаний инструмента,  $V_V = 2\pi fA$ ;  $\alpha$  – полуугол открытия волокна;  $V_{вол}$  – скорость волочения;  $\delta$  – степень пластической деформации.*

*$\delta = [1 - (D_1/D_0)^2] \cdot 100$  [%];  $D_0, D_1$  – диаметры проволоки полуфабриката и волоченной;  $B_m, B_{m_0}$  – максимальная внутренняя – нормальная и остаточная индукция;  $H_c$  – коэрцитивное поле.*

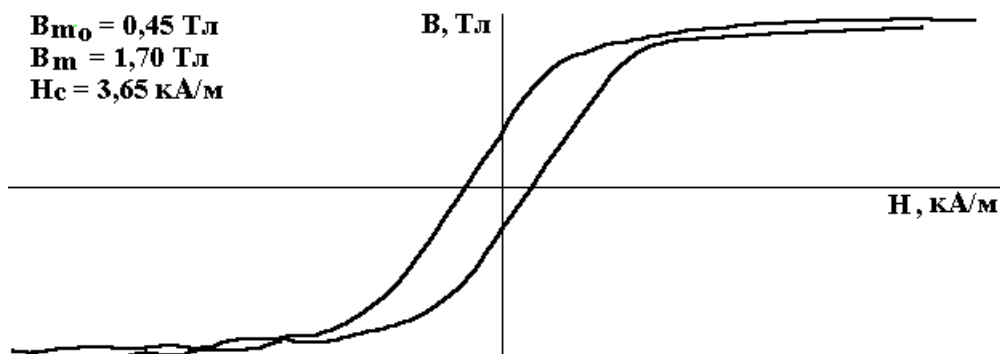


Рис. 7. Цикл гистерезиса для подшипниковой проволоки, волооченной в классических условиях.

Для сравнения на рис. 8 дана вариация магнитных характеристик, полученных на образцах в отожженном состоянии соответственно волооченные с ультразвуком и без него.

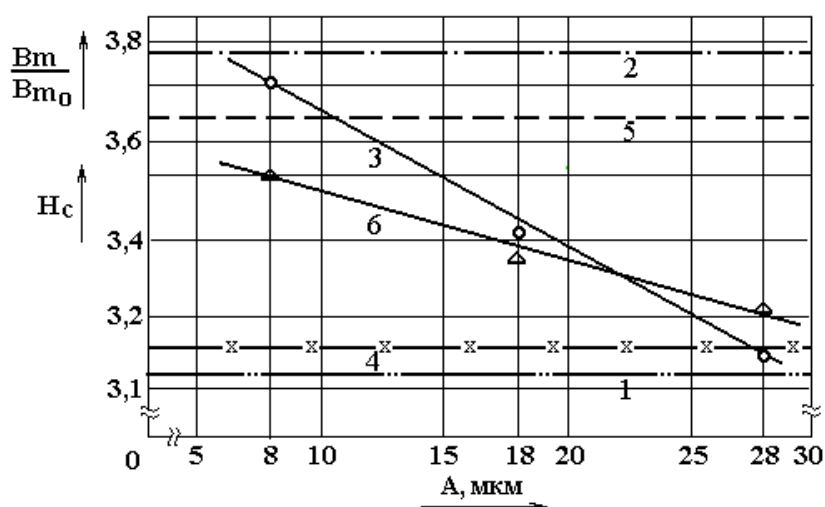


Рис. 8. Вариация магнитных характеристик подшипниковой проволоки в отожженном состоянии, волооченной с ультразвуком и без него.

$B_m/B_{m0}$ : 1 – отожженное состояние; 2 – классическое волочение; 3 – с ультразвуком;  
 $H_c$ : 4 – отожженное состояние; 5 – классическое волочение; 6 – с ультразвуком.

### Выводы

Кривые гистерезиса, как и величина магнитных характеристик, которые их определяют, выявляют некоторые различия, определенные фактически полученными напряженными состояниями впоследствии обработки образцов подшипниковой проволоки. Уменьшение относительной магнитной индукции  $B_m/B_{m0}$  и коэрцитивного поля  $H_c$  с возрастанием амплитуды колебаний инструмента во время волочения в ультразвуковом поле вызвана уменьшением напряженного состояния в проволоке, обработанной этим способом, основанный на "поверхностном эффекте ультразвука" (уменьшение контактного трения металл–инструмент), объясненный на основе "реверсия вектора силы трения" тогда, когда скорость колебания инструмента превышает скорость волочения [4, 6].

### ЛИТЕРАТУРА

1. Malureanu I., Susan M. Trefilarea si Tagerea metalelor. Editura "Rotaprint", I. P. Iasi, 1988.
2. Călugăru Gh. La determination de la dispersion de l'anisotropie des couches ferromagnetiques. Thin Solid Films (14), 1972. P. 315–318, Switzerland.
3. Cedighian, S. Materiale magnetice. Editura Tehnică, București, 1967.
4. Susan M. Cercetări privind influența câmpului ultrasonor la trefilarea sârmelor din oțeluri de rulmenți în câmp ultrasonor. Teză de doctorat. Universitatea Tehnică "Gh.Asachi" Iași, 1996.

5. Luca D., Bulea M. A versatile computer – controlled data acquisition system for measurements on ferromagnetic materials. *Revue Roumaine de Physique*, Tome 37, nr.1, 1992, p. 75–81.
6. Severdenko, V.P., Klubovici, V.V. *Prokatka i volocenie ultrazvukom*, Nauka i Tehnika, Minsk, 1970.

Поступила 14.03.02

### Summary

The paper shows some modification of the magnetic characteristics obtained at the wires made from RULIV STAS 1250/SH 15 GOST 801 by drawing in supersounds field with superacoustic systems dimensioned in “ $n \cdot \lambda/2$ ”, with the drawing direction by rapport with the classical processing. In this way it is been put into evidence the reduction of tensile state for the wires drawn in supersounds field produced by the “surface effect” of supersounds, obtained on the basis of “the friction reversal mechanism”.

С.А. Баранов

## ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ И ТЕРМОПЛАСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ, УЧАСТВУЮЩИХ В ФОРМИРОВАНИИ МАГНИТНОЙ СТРУКТУРЫ МИКРОПРОВОДА

*Институт прикладной физики АН РМ,  
ул. Академией, 5, г. Кишинев, МД-2028, Республика Молдова*

### Введение

Основным условием получения литого микропровода методом Улитовского-Тейлора является сцепление капилляра из силикатного стекла с металлической жилой [1]. Существование разности потенциалов между расплавленной металлической каплей и стеклянным тиглем, в который она помещена, предполагает существование электрохимических процессов в активной области формирования микропровода, где происходит окисление металла и создание поверхности оксидного слоя. Эти явления давно известны в электрохимии и относятся к электрокапиллярным эффектам. Уточняющие опыты с включением в цепь расплавленный металл – расплавленное стекло дополнительного внешнего источника постоянного напряжения позволило оценить величину разности потенциалов, которая по порядку величины составляет не более двух вольт.

Данное явление может быть реализовано следующим способом: при соприкосновении расплавленного металла с жидким стеклом на границе происходит химическая (или электрохимическая) реакция, при которой отрицательный ион кислорода (из расплавленного стекла) соединяется с положительным ионом металла. Для интенсификации этих процессов в сплав добавляются поверхностно-активные вещества [2]. С одной стороны получаемая окисная пленка приводит к созданию двойного электрического слоя. Но с другой стороны, именно, данная оксидная пленка и создает сцепление металла со стеклянным капилляром.

Нас интересуют две важные технологические задачи:

1. Создание технического устройства для управления электрохимическим процессом (аспекты этого исследования рассмотрим в другой работе).

2. Изучение влияния "энергии сцепления" металла и стекла на свойства микропровода. Покажем, что энергия электрохимического взаимодействия определяет формирование микропровода. В частности, адгезия металла к стеклу обеспечивает величину и картину распределения остаточных напряжений, которые создают специфическую магнитную структуру. Неучет этого факта привел к неправильным граничным условиям и спорным окончательным выводам. В этом смысле результаты