

14. Герасимов, Я.И. Курс физической химии – Т. 1 [Текст] / Герасимов Я.И., Древинг В.П., Еремин Е.Н. – Москва: ГНТИХЛ, 1963. – 624 с.
15. Эйдуc, Л.Х. О едином механизме инициации различных эффектов малых доз ионизирующих излучений [Текст] / Эйдуc Л.Х. // Радиационная биология. Радиоэкология. – 1996.-Т.36. – № 6.- С. 874-882
16. Эйдуc, Л.Х. Мембранный механизм биологического действия малых доз. Новый взгляд на проблему [Текст] / Эйдуc Л.Х. – Пушино: ИТЭБ, 2001. – 161 с.

**Abstract**

The publications concerning the increase of radioimmunity of cell cultures by force of helium-neon laser irradiation were examined (length of the wave 632,8 nm). For example, the number of chromosome aberrations in diploid cells of skin-muscular tissue of human embryo is about 1,2 %. Exposed to neutrons (dose 1 Gr), their number increases to 8,3%. In case, when after neutron the cells are irradiated for 16 min (intensity 20 mW/sm<sup>2</sup>), their number decreases to 2,2%. After x-ray irradiation of cells of cricetus griseus (Chinese hamster) only 10,5% of cells survive. When after irradiation the laser effect them for half a minute (15 mW/sm<sup>2</sup>) the survival potential becomes three times bigger. The decrease of fibroblast radioresistance (opposite result) can be observed while using the laser ray with bigger intensity (178 mW/sm<sup>2</sup>). The influence of x-rays on fibroblasts (6,4 Gr) provides the growth inhibition for 26%. Combined influence of the same dose of x-rays and the laser (5 min light exposure) leads to the growth inhibition for 43%. These examples show that depending on intensity value of laser ray various conditions of cell functioning are realized. In case of low intensities, the laser increases permeability of plasmatic membrane and stimulates the enzyme activation, encouraging proliferative processes. This provides the increase of radioresistance. The laser influence of intensities of thermal values (more than 30 mW/sm<sup>2</sup>) destroys the cell, contributing negatively to the destructive effect of ionizing radiation

**Keywords:** ionizing radiation, laser, radio-resistance, membrane

Уточнено існуючі та встановлено нові залежності впливу форми та співвідношення площі поперечного перерізу виробу й полюсних наконечників коерцитиметру КРМ-Ц, величини зазору між електромагнітом і виробом, мікрогеометрії контакту, структурного стану залізовуглецевих сплавів на достовірність оцінок за магнітним параметром

**Ключові слова:** магнітний контроль, коерцитивна сила, залізовуглецевий сплав, неруйнівна оцінка якості

Уточнены существующие и установлены новые зависимости влияния формы и соотношения площади поперечного сечения изделия и полюсных наконечников коэрцитиметра КРМ-Ц, величины зазора между электромагнитом и изделием, микрогеометрии контакта, структурного состояния железоуглеродистых сплавов на достоверность оценок по магнитному параметру

**Ключевые слова:** магнитный контроль, коэрцитивная сила, железоуглеродистый сплав, неразрушающая оценка качества

УДК 621.785.33

## ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ДОСТОВЕРНОСТЬ ОЦЕНОК ПО МАГНИТНОМУ ПАРАМЕТРУ

**В. М. Власовец**

Доктор технических наук, профессор  
Кафедра технологических систем  
ремонтного производства  
Харьковский национальный технический университет  
сельского хозяйства им. П. Василенка  
ул. Артема, 44, г. Харьков, Украина, 61002  
Контактный тел.: 067-936-79-24  
E-mail: vlasovez@ukr.net

### Введение

Методы, используемые для исследований структуры железоуглеродистых сплавов и оценки её свойств, имеют известные ограничения, связанные с тем, что разрушающие способы контроля не позволяют в пол-

ной мере и каждом изделии оценить необходимые показатели качества, установить причины отклонений, а также зоны с неоднородными показателями. Традиционными испытаниями практически невозможно осуществить 100%-ный контроль изделий. Эффективной альтернативой является применение неразрушающих

магнитных методов контроля с использованием структурночувствительной магнитной характеристики – коэрцитивной силы (далее  $H_c$ ).

**Анализ литературных данных и постановка проблемы**

Как правило, исследование структуры, фазового состава и механических свойств рабочего слоя изделий выполняют на вырезанных образцах [1]. Такие образцы имеют различную толщину и форму.

Проведёнными исследованиями показано [2, 3], что выходной параметр коэрцитиметров, хотя и пропорционален коэрцитивной силе материалов, но также зависит от многих внешних факторов (в том числе размера и формы измеряемых объектов), которые снижают чувствительность метода. Несмотря на работы известных учёных (Михеева М.Н., Горкунова Е.С., Кондорского Е.И., Биды Г.В., Костина В.Н. и др.), которые заложили фундаментальные основы теории исследования зависимостей магнитных и механических свойств от изменения структуры материалов, они не могут быть непосредственно использованы для количественной оценки характеристик реальных материалов изделий и требуют внесения поправок, учитывающих тип используемого прибора, форму и размеры объекта.

**Цель работы**

Оценка влияния различных факторов на достоверность оценки по магнитному параметру.

**Методики исследования**

Измерения  $H_c$  в условиях производства проводили с помощью переносных коэрцитиметров КРМ-Ц с двумя типами накладных преобразователей и 6 видами полюсных наконечников, предназначенных для оценки изделий отличающихся размерами, формой. Прибор – КРМ-Ц предназначен для измерения коэрцитивной силы локального участка ферромагнитных материалов.

Принцип действия прибора основан на вычислении  $H_c$  по измеряемому току компенсации остаточной магнитной индукции в замкнутой магнитной цепи. Цепь создаётся магнитной систе-

мой преобразователя, полюса которой замкнуты контролируемым образцом. Цикл измерения включает в себя: магнитную подготовку (продолжительность 2 с), компенсацию остаточной намагниченности (2 с), вычисление  $H_c$ , индикацию результата.

Измерения производили двумя типами накладных преобразователей – большим, с расстоянием между полюсами 35 мм (тип Б), размер площадки для фиксации щупа 30×10 мм, предназначенным для контроля массивных изделий, и малым – 25 мм (тип М), 15×5 мм, используемым для оценки качества покрытий, упрочнённых зон и участков локальных неоднородностей.

Для исследования влияния величины зазора между электромагнитом и изделием, влияния краевых эффектов на уровень  $H_c$  и её чувствительность к изменениям структурного состояния изделий после термических обработок для первого типа преобразователя использовали 6 видов полюсных наконечников, для второго – 2 вида (табл. 1).

**Таблица 1**

**Типы используемых полюсных наконечников различных датчиков**

Условное обозначение	Геометрический параметр			Тип полюсного наконечника	Условное обозначение	Геометрический параметр			Тип полюсного наконечника
	толщина, а, мм	ширина, b, мм	Площадь поперечного сечения, $S_{\text{пл}}$ , мм <sup>2</sup>			толщина, а, мм	ширина, b, мм	Площадь поперечного сечения, $S_{\text{пл}}$ , мм <sup>2</sup>	
Б00 <sup>1</sup>	12	27	324		Б04	12	27	324	
Б01	12	27	324		Б05	12	27	324	
Б02	4	27	108		М00	5	27	135	
Б03 <sup>2</sup>	5	27	135		М01	22	26	572	

*Примечание. 1 – тип полюсного наконечника аналогичен стандартному накладному преобразователю коэрцитиметра; 2 – увеличено расстояние от катушек до детали, более узкое расстояние между щупами, чем Б02.*

Оценка  $H_c$  в условиях конкретного производства, формы и материалов изделий, приборов, ввиду отсутствия стандартизованного подхода может быть выражена с помощью вектора влияния факторов измерительного процесса на совокупность результатов через поправочный коэффициент  $K'$ .

$$K' = K_I K_{II} K_{III} K_{IV} K_V K_{VI} K_{VII}, \quad (1)$$

где коэффициенты учитывают:  $K_I$  – чувствительность конкретного накладного преобразователя к  $H_c$  сплава, обусловленный его конструкцией и материалом сердечников электромагнита;  $K_{II}$  – влияние краевых эффектов (распределение магнитного потока при намагничивании изделия, наличие геометрических изменений в областях намагничивания);  $K_{III}$  – влияние площади поперечного сечения, расстояния между полюсами и до намагничивающих катушек полюсных наконечников;  $K_{IV}$  – форму и соотношение площади поперечного сечения изделия и полюсных наконечников;  $K_V$  – влияние величины зазора между электромагнитом и изделием;  $K_{VI}$  – влияние микрогеометрии контакта на чувствительность;  $K_{VII}$  – влияние структурного состояния сплава на коэффициент перехода при использовании полюсных наконечников различной формы. Без учета факторов, входящих в поправочный коэффициент  $K'$ , погрешность измерений может возрастать до 80% [4]. Коэффициенты  $K_I$  –  $K_{III}$  характеризуют используемый прибор и зачастую не могут быть изменены без вмешательства в его конструкцию. В то же время факторы, влияющие на уровень коэффициентов  $K_{IV}$  –  $K_{VII}$  зависят от конкретных условий измерений изделия и без их учёта невозможно достоверно определить  $H_c$ . Поэтому их рассмотрению уделено особое внимание.

### Результаты работы и их обсуждение

Для определения влияния толщины изделий квадратной формы выполнены замеры ряда образцов с коэрцитивной силой 20,1 А/см (рис. 1, а). Измерения произведены по стороне  $a_n$ . Линия 1 соответствует случаю  $S_n = S_{эл}$ , линия 2 соответствует  $S_n = 5S_{эл}$ .

Для ряда сечений изделий установлены коэффициенты формы ( $K_{IV}$ ), учитывающие изменение тока размагничивания (см.рис. 1, б), которые подчиняются зависимости:

$$K_{IV} = 1,60 + 0,17 \ln(a_n/b_n), \quad (2)$$

где  $a_n$  – ширина и  $b_n$  – толщина образцов. Для малых отношений  $a_n/b_n$  характерный спад объясняется ростом магнитного сопротивления изделия, а для больших – вследствие перемагничивания изделия по непредельной петле гистерезиса.

Для случая  $b_n > \sqrt{S_{эл}}$  показания коэрцитиметра не зависят от толщины квадрата. Увеличение ширины квадрата от значения, равного ширине сердечников электромагнита, до значения, зависящего от намагничивающего тока и примерно равного  $2a+b+t$  (см. рис. 3.1), сопровождается заметным падением магнитного потенциала  $U_{с.н}$  и соответственным увеличением  $I'_{pc}$ .

Для оценки влияния величины зазора (наличие окатины) между электромагнитом и изделием (0,1–2,0 мм) выполнено моделирование. С увеличением зазора наблюдается снижение тока размагничивания, фиксируемое коэрцитиметром (рис. 2), тем интенсивнее, чем массивнее контролируемое изделие и выше её исходный уровень. Увеличения тока размагничивания накладного преобразователя КРМ–Ц при возрастании зазора между электромагнитом и образцами с низкой  $H_c$  (5–8 А/см), характерного для известного прибора КИФМ [5], не зафиксировано.

Для изделий полый цилиндрической формы, с учётом изменения зазора, выполнена оценка влияния диаметра (20–70 мм) и толщины (1–20 мм) изделия на поправочный коэффициент  $K_V$  (рис. 3). Найденные выражения позволяют оценить степень влияния размеров изделий, а также полоого цилиндрического сечения на показания коэрцитиметра.

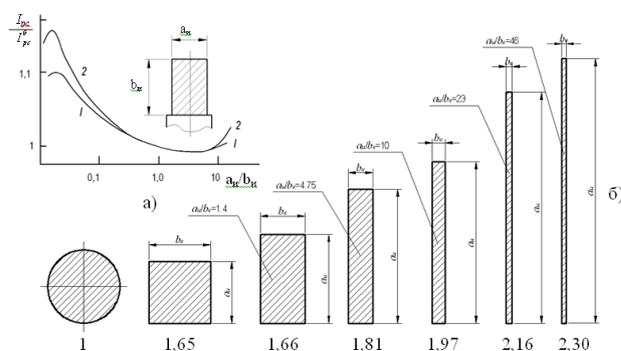


Рис. 1. Зависимость (а) относительных показаний коэрцитиметра от соотношения ширины и толщины изделий, а также поправочные коэффициенты  $K_{IV}$  (б). Размеры сечения изделий: 1 –  $S_n = S_{эл}$ ; 2 –  $S_n = 5S_{эл}$ ;  $I'_{pc}$  – показания коэрцитиметра, соответствующие массивному образцу  $S_n \gg S_{эл}$

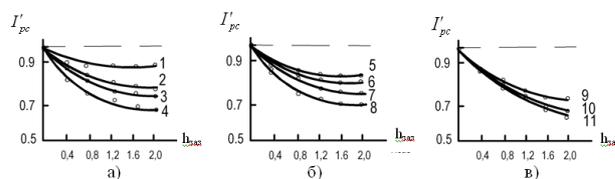


Рис. 2. Диаграммы показаний коэрцитиметра от величины зазора между полюсами и изделиями (коэффициент  $K_V$ ): а –  $S_n / S_{эл} = 0,3$ ; б, в – 1,0; 3,0; 1 –  $H_c = 4,8$  А/см; 2 – 8,2 А/см; 3 – 14,7 А/см; 4 – 30,1 А/см; 5 – 6,57 А/см; 6 – 8,2 А/см; 7 – 15,3 А/см; 8 – 40,1 А/см; 9 – 7,3 А/см; 10 – 20,4 А/см; 11 – 45,4 А/см

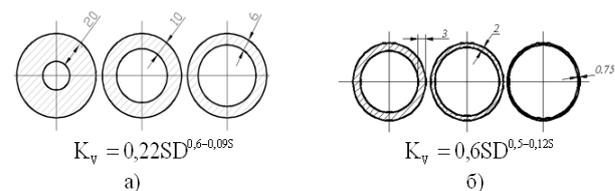


Рис. 3. Значения корректировочного коэффициента  $K_V$  в зависимости от диаметра  $D$  и толщины  $S$  изделия трубчатого сечения: а – для толщины 5–20 мм; б – для толщины 1–4 мм

Для оценки влияния микрорельефа поверхности контакта на чувствительность накладного преобразователя (коэффициент  $K_{VI}$ ) проведены дополнительные исследования.

Неоднородность поверхности контакта сформирована на цилиндрических образцах диаметром 50 мм и шириной  $5S_{эл}$  алмазным выглаживанием (рис. 4) по следующим режимам: амплитуда осцилляции деформирующего элемента - 1 мм, число оборотов – 25 об/мин, величина подачи – 3,08–0,52 мм/об. После выглаживания образцы подвергнуты нормализации ( $t_n=850\pm 10^\circ C$ ). Глубина геометрической неоднородности составила – 0,5 мм.

С уменьшением площади контакта от 60% до 10% увеличивается магнитное сопротивление зазора между участками изделия и электромагнитом и, как следствие, падает  $\dot{I}_{pc}$  (до 16%):

$$\dot{I}_{pc} = 1,2 + 0,016S_{конт}, \tag{3}$$

где  $S_{конт}$  – площадь контакта между изделием и полюсом электромагнита.

Помимо вышеприведенных факторов, в случае сопоставления значений, полученных при использовании различных полюсных наконечников на одном приборе необходимо учитывать различие коэффициентов перехода, зависящее от их чувствительности к структурному состоянию сплава.

Для его оценки использован поправочный коэффициент  $K_{VII}$ , определяемый как отношение среднего уровня  $H_c$  полученного с использованием полюсного наконечника к базовому значению  $H_c$  стандартного (B00) на изделиях с известным структурным состоянием после термической обработки. Измерения произведены накладными преобразователями и полюсными наконечниками в соответствии с табл. 1.

Поправочные коэффициенты определены на изделиях из сплавов с различной концентрацией углерода, степенью легированности, после различной термической обработки (табл. 2, рис. 5).

Установлено, что наибольшую чувствительность к структурному состоянию (соответственно максимальное значение поправочного коэффициента  $K_{VII}$ ) имеют наконечники, рабочая поверхность которых максимально приближена к форме исследуемых изделий (M00, Стр и базовый B00). С увеличением расстояния между катушками накладного преобразователя и изделием (полюсные наконечники B02 и B03) чувствительность снижается до 60%. Сближение наконечников (B01), локализуя размер измеряемого участка, меньше влияет на уровень, чем расстояние до катушек. Легирование металла также существенно влияет на  $K_{VII}$ , – до 2,2 раз для стали с 0,79% C, 1,05% V, 4,20% Cr, 18% W.

Установлено, что для изделий малого сечения ( $S_n < S_{эл}$ ) поправочный коэффициент не зависит от марки сплава. При  $S_n > S_{эл}$  на его величину оказывает влияние ход кривой зависимости  $H_c$  от максимального значения индукции при намагничивании.

Для дальнейших исследований важным является установление влияния анизотропии и градиента свойств изделий на уровень фиксируемой коэрцитивной силы, а также разработка методики отбора проб

для оценки их свойств, которая будет учитывать данную специфику.

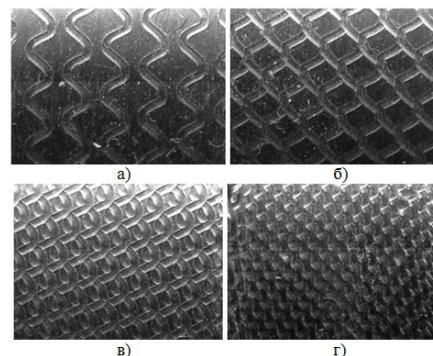


Рис. 4. Макрорельеф поверхности образцов (сплав с 0,4% C, нормализация) после выглаживания при различной величине подачи: а – 3,08 мм/об; б – 1,56 мм/об; в – 1,04 мм/об; г – 0,52 мм/об;  $\times 5$

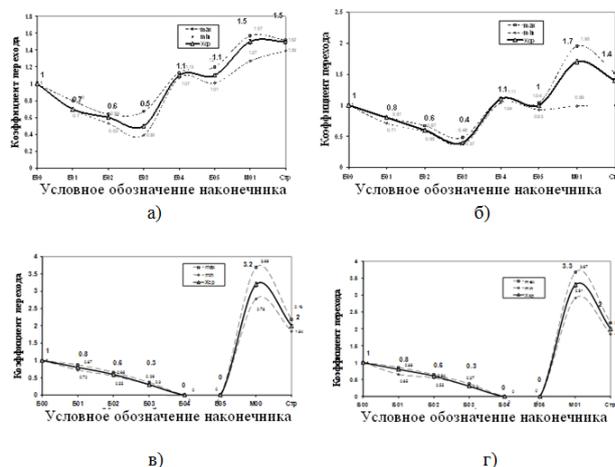


Рис. 5. Значения коэффициентов переходов полюсных наконечников для сплавов: а, б – доэвтектоидных, в, г – высоколегированных близких к эвтектоидным; а – 0,45% C; б – 0,40% C, 1,0% Cr; в – 0,82% C, 5,40% Mo, 2,1% V, 4,27% Cr, 6,2% W; г – 0,79% C, 1,05% V, 4,20% Cr, 18% W (для высоколегированных сплавов коэффициенты  $K_{VII}$  для наконечников B04 и B05 не определяли из-за различия геометрической формы анализируемых изделий)

Таблица 2

Поправочные коэффициенты ( $K_{VII}$ ), учитывающие вид термической обработки сплавов

Тип полюсного наконечника	Термическая обработка			
	отжиг	нормализация	закалка	отпуск в интервале (450-650°C)
B00	1	1	1	1
B01	0,71	0,76	0,81	0,74–0,79
B02	0,59	0,58	0,63	0,64–0,67
B03	0,37	0,4	0,4	0,44–0,48
B04	1,08	1,1	1,11	1,04–1,11
B05	0,99	1	1,02	0,93–1,04
M00	0,99	1,7	1,75	1,82–1,95
Стр	1	1,39	1,51	1,48–1,52

---

**Выводы**


---

Результаты проведенных исследований позволили сделать следующие выводы.

Максимальная чувствительность метода обеспечивается при равенстве площадей поперечного сечения изделия и полюса преобразователя. Для повышения чувствительности метода необходимо использовать полюсные наконечники, рабочая поверхность которых

максимально приближена к форме исследуемых изделий.

Исследуемые сплавы необходимо объединять в группы по концентрации углерода, учитывая влияние легирующих элементов: до-, заэвтектоидные стали, и легированные чугуны. Контроль необходимо производить после каждой обработки, изменяющей соотношение структурных составляющих и фазовый состав.

---

**Литература**

1. Balitskii, A.I. Modern material for powerful turbogenerators [Текст] / A.I. Balitskii. – Lviv: National Academy of Sciences of Ukraine. Karpenko Physico-Mechanical Institute, 1999. – 284 p.
2. Щербинин, В. Е. Магнитный контроль качества металлов [Текст]. / В. Е. Щербинин, Э. С. Горкунов – Екатеринбург: УрО РАН, 1996. – 263 с.
3. Hubert, A. Magnetic Domains. The Analysis of Magnetic Microstructures. [Текст] / A. Hubert, R. Schafer. – Berkeley: Springer, 1998. – 720 p.
4. Guru, B.S. Electromagnetic field theory fundamentals. [Текст] / B.S. Guru, H.R. Hizirogly. – Cambridge: Cambridge University Press, 2004. – 681 p.
5. Бида, Г.В. Магнитный контроль механических свойств проката. [Текст] / Г.В. Бида, Э.С. Горкунов, В.М. Шевнин – Екатеринбург: УрО РАН, 2002. – 252 с.

**Abstract**

*For most practical problems, the magnetic structure analysis cannot predict the quantitative relationship between the coercive force and the structural state of the material of goods on the basis of theoretical models only, due to a significant number of factors that affect the experimental estimate. Therefore, the aim of research is to determine the influence of the main factors for the products of different sizes, taking into account the structure, phase composition, geometry and surface conditions on the reliability of the estimates. Measurements of the coercive force in the production were carried out using the most common portable Coercimeters MRC-C with two types of superimposed transformers and 6 kinds of pole pieces, designed to assess the products of different size and shape. The developed method of research has helped to clarify the existing and establish new dependencies of influence of the shape and the ratio of the cross-section area of product and the pole pieces, the gap between the electromagnet and the product, the microgeometry of the contact, the structure of alloys, the reliability of the estimates of the magnetic parameter through the definition of transition coefficient when using pole pieces of various form. Comprehensive research found that the influence of the studied factors could reduce the accuracy of the measured indices of the magnetic characteristics up to 60%. The research results can be applied in the production while implementing the technology of nondestructive testing of the quality by magnetic method*

**Key words:** magnetic control, coercive force, iron-carbon alloy, nondestructive testing of the quality