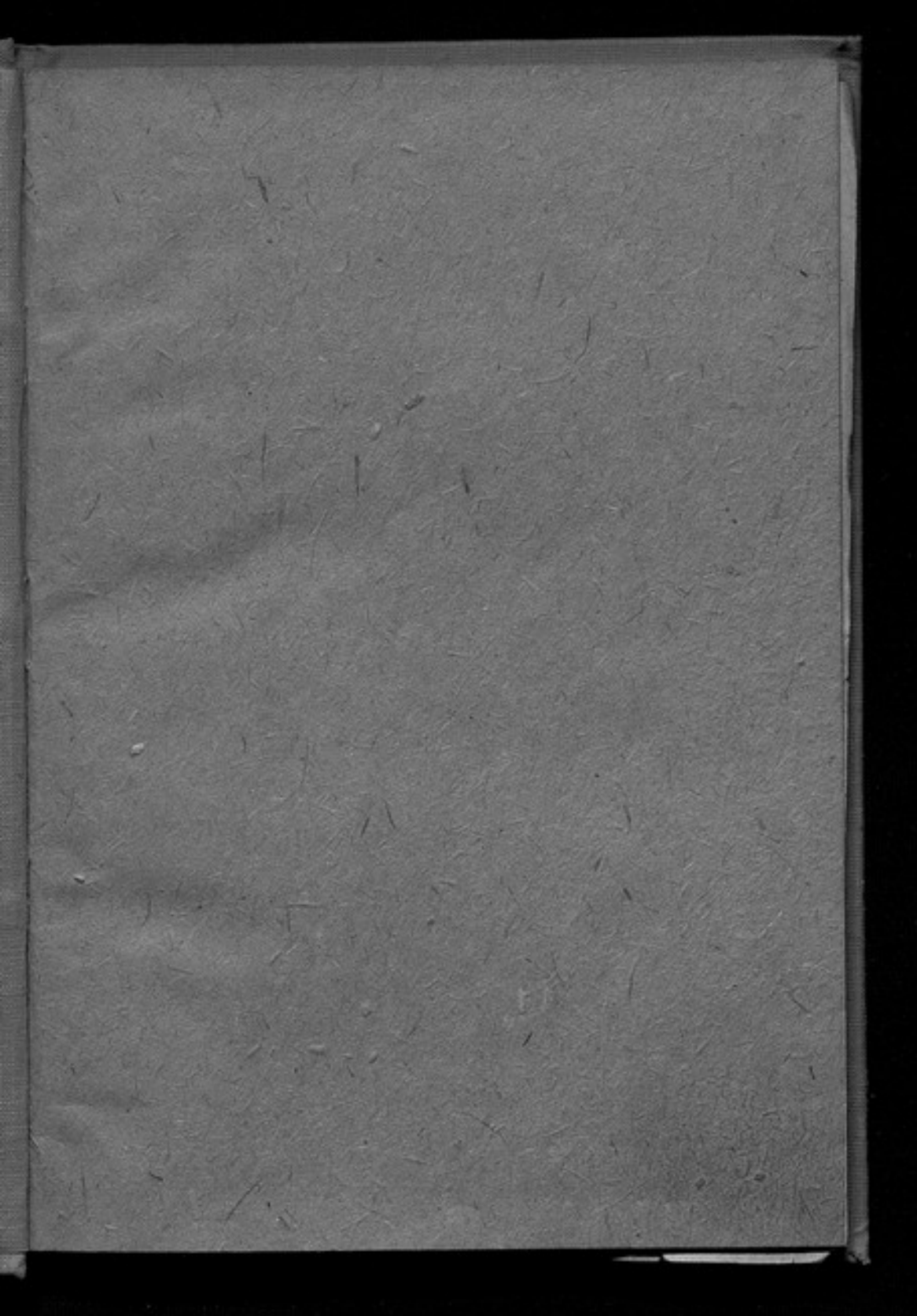


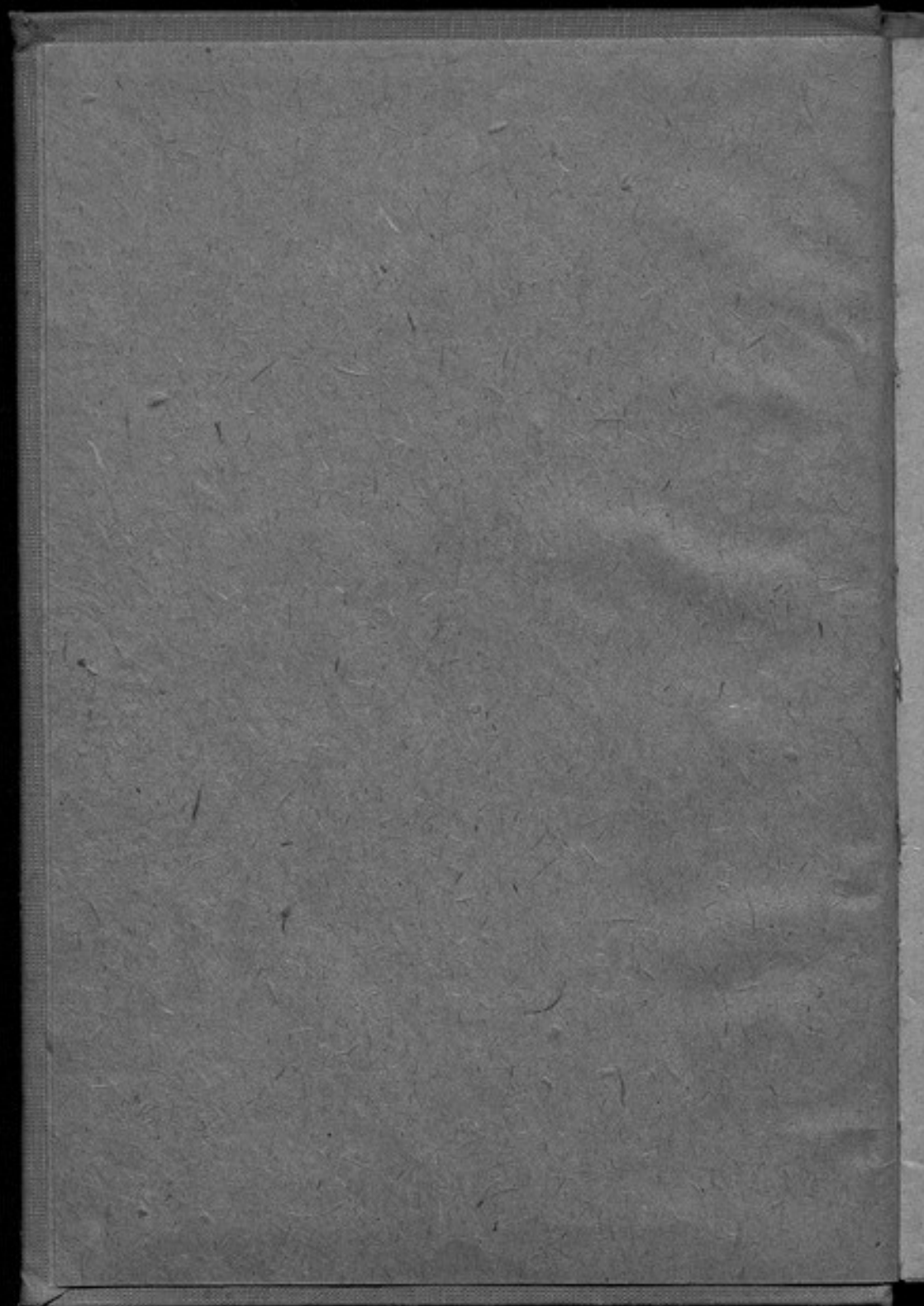
4(20)

1937
JF

ш

З полка





Стр.



ВКС ПРИ СТО
ЦЕНТРАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ МЕР И ВЕСОВ

1933 г. — Выпуск 4 (20)

ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
МЕТРОЛОГИИ И СТАНДАРТИЗАЦИИ



ТРУДЫ

ВСЕСОЮЗНОГО НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО
ИНСТИТУТА МЕТРОЛОГИИ И СТАНДАРТИЗАЦИИ

Выпуск 4 (20)

Travaux de l'Institut de Métrologie et Standardisation
de l' U.R.S.S. Livraison 4 (20)

СОДЕРЖАНИЕ — Е. Г. Шрамков Сравнительные магнитные испытания в магнитных лабораториях Р. Т. Reichsanstalt и Всесоюзного Института метрологии и стандартизации. — Н. И. Спиридович Магнитная восприимчивость латуни с различным содержанием железа и метод испытания слабомагнитных материалов. — С. П. Будрин Определение коэффициентов размагничивания при помощи идеальной кривой намагничивания. — С. П. Будрин Измерение магнитной проницаемости листового электролампового стали в слабом магнитном поле на постоянном токе. — Е. Т. Чернышев Новый прибор для градуировки магнетронов.

SOMMAIRE — E. G. Chramkov Essais magnétiques comparatifs, faites aux laboratoires magnétiques de la R. T. Reichsanstalt et de l' Institut de Métrologie et Standardisation de l' U.R.S.S. — N. I. Spiridovitch Susceptibilité magnétique du laiton à la teneur différente de fer et la méthode d'essais des matières faiblement magnétiques. — S. P. Boudrine Détermination des facteurs démagnétisant à l'aide de la courbe d'aimantation idéale. — S. P. Boudrine Détermination de la perméabilité magnétique de la tôle d'acier électrotechnique dans le champ magnétique faible. — E. T. Tchernychev. Un nouveau appareil pour la graduation de magnétromètres.

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

СТАНДАРТИЗАЦИЯ И РАЦИОНАЛИЗАЦИЯ
ЛЕНИНГРАД 1 9 3 3 МОСКВА

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ МАГНИТНЫЕ ИСПЫТАНИЯ В МАГНИТНЫХ ЛАБОРАТОРИЯХ PHYSIKALISCH-TECHNISCHE REICHS-ANSTALT И ВСЕСОЮЗНОГО ИНСТИТУТА МЕТРОЛОГИИ И СТАНДАРТИЗАЦИИ

Е. Г. Шрамков

В 1929 году эталонной магнитной лабораторией Всесоюзного института метрологии и стандартизации (ВИМС) были предприняты сравнительные магнитные испытания в магнитных лабораториях Р. Т. Reichsanstalt (PTR) в Берлине и в ВИМС. Испытания имели целью проконтролировать методику магнитных измерений и степень надежности и правильности измерений путем сравнения результатов, полученных в ВИМС, с результатами испытаний в магнитной лаборатории PTR, одной из наиболее старых лабораторий, имеющей богатый опыт в области магнитных измерений. Объектами испытаний служили образцы ферромагнитных материалов в форме эллипсоидов вращения, цилиндрических стержней и полос.

Испытания касались определения основных кривых намагничивания и кривых гистерезисных циклов. Для образцов листовой электротехнической стали измерялись также потери на гистерезис и токи Фуко. Все образцы, за исключением листовой электротехнической стали, были изготовлены в ВИМС.

Испытания в ВИМС производились частично, как до отправки образцов в Германию в PTR так и после возвращения их обратно в Ленинград. Некоторые образцы, по чисто техническим причинам, испытывались только по возвращении из Германии. На образцы, испытанные в PTR, получены установленные свидетельства.

1. Испытание эллипсоида вращения

Материал образца — мягкое железо. Размеры образца: большая ось 200,12 мм, малая ось 10,026 мм. Размеры эллипсоида были определены в лаборатории калибров ВИМС. Образец имеет клеймо ВИМС и № 4.

Магнитные испытания в ВИМС производились баллистическим методом в разомкнутой магнитной цепи в пустотелой цилиндрической катушке.

дрической катушке длиной в 1 м, с внутренним диаметром в 2 см. Образец помещали в центральную часть соленоида. На эллипсоид в средней его части надевалась измерительная катушка, соединенная с баллистическим гальванометром.

Напряженность магнитного поля H_i внутри образца вычисляли по формуле:

$$H_i = \frac{4\pi H - NB'}{4\pi - N \frac{S_k}{S_0}}$$

где H — напряженность магнитного поля намагничивающей катушки в эрстедах, N — коэффициент размагничивания образца, B' — магнитная индукция в гауссах, измеренная при напряженности поля H , без поправки на поток в воздушном зазоре между образцом и измерительной катушкой, S_k и S_0 — соответственно средние сечения измерительной катушки и образца.

Измеренная магнитная индукция B' исправлялась, как обычно, принимая во внимание поток в воздушном зазоре между образцом и измерительной катушкой:

$$B = B' - H_i \left(\frac{S_k}{S_0} - 1 \right),$$

где B — истинная магнитная индукция в гауссах.

В PTR эллипсоид испытывался на астатическом магнитометре Kolrausch и Holboogна.¹

При вычислениях напряженности магнитного поля внутри эллипсоида коэффициент размагничивания принят в обоих случаях равным 0,0848 по данным PTR. Эта величина несколько отличается от расчетной величины $N = 0,08508$, исходя из размеров эллипсоида, измеренных в ВИМС, что следует отнести за счет расхождения в измерениях размеров в ВИМС и в PTR.

Результаты магнитных измерений приведены в таблице 1.

На основании данных измерений, приведенных в таблице 1, построены основные кривые намагничивания (рис. 1).

Вследствие недостаточно благоприятного соотношения размеров эллипсоида (что обуславливает большой коэффициент размагничивания образца) результаты измерений не являются вполне надежными, особенно при испытаниях баллистическим методом. Выбор таких размеров эллипсоида объясняется исключительно техническими затруднениями изготовления образцов в форме эллипсоидов вращения, имея в виду, что это был первый опыт в ВИМС изготовления таких образцов.

¹ E. Gumlich — Leitfaden der magnetische Messungen, 1918.

Таблица I — Tableau I

Основная (коммутационная) кривая намагничивания
Эллипсоид № 4
Courbe d'aimantation fondamentale (de commutation)
Ellipsoïde No 4

P T R		ВИМС — IMS	
Напряженность магнитного поля Intensité du champ magnétique	Магнитная индукция Induction magnétique	Напряженность магнитного поля Intensité du champ magnétique	Магнитная индукция Induction magnétique
<i>H</i> эрстеды — oersteds	<i>B</i> гауссы — gauss	<i>H</i> эрстеды — oersteds	<i>B</i> гауссы — gauss
1,4	2050	1,55	2230
2,1	4070	1,63	2630
2,6	6050	1,93	4080
3,3	8380	2,10	4880
3,6	10240	2,98	7500
5,3	12290	4,94	11840
10,5	14100	6,95	13040
20,4	15270	10,9	14100
34,3	16000	17,8	15120
71,8	17160	34,8	16030
113,8	17960	77,4	17210
		114,8	17900

2. Испытание цилиндрических образцов

Образец мягкого железа длиной 30 см, диаметром в средней части 1,001 см. Образец имеет клеймо ВИМС и № 7 и клеймо PTR и № 3983/84.

Испытание в ВИМС производилось частично в пермеамetre в замкнутой магнитной цепи, частично в открытом соленоиде в разомкнутой магнитной цепи. Последнее относится к испытанию при малых напряженностях поля.

Как известно, измерения в пермеаметрах, когда напряженность магнитного поля вычисляют по намагничивающим ампервиткам катушки или по постоянной катушки (напряженность поля на 1 ампер силы тока), не дает надежных результатов, вследствие влияния ярма, стыков образца с ярмом, обуславливающих искажение напряженности поля внутри образца. Особенно заметно это наблюдается при малых напряженностях поля.

В данном случае, чтобы получить истинную кривую намагничивания, необходимо экспериментальную кривую исправить, пользуясь кривой „магнитного сдвига“ для пермеметра, применительно к магнитным свойствам испытуемого образца. В виду того, что магнитная лаборатория ВИМС не имела магнитометрической установки, на которой можно было бы произвести

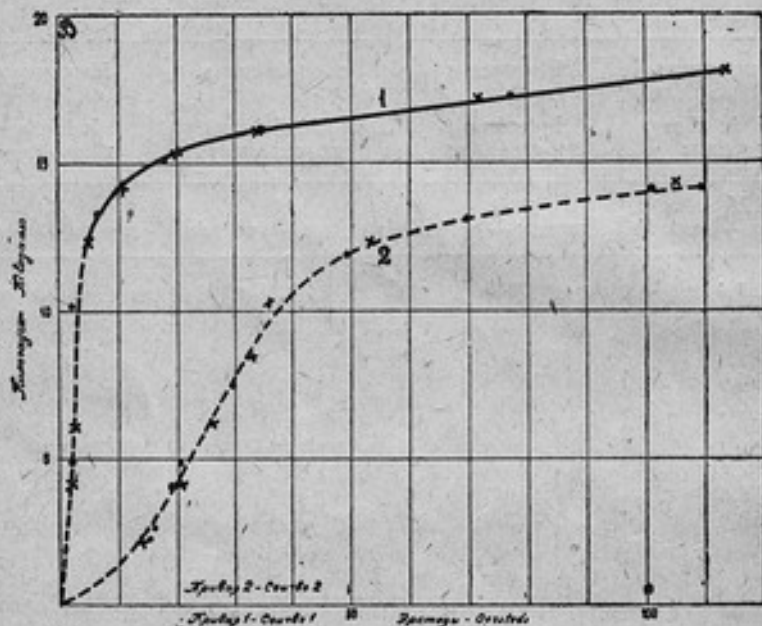


Рис. 1. Основная кривая намагничивания. Эллипсоид № 4.

• — данные ВИМС; × — данные PTR.

Fig. 1. Courbe d'aimantation fondamentale. Ellipsoïde No 4.

• — données de l'IMS; × — données de la PTR.

абсолютные измерения и получить кривые „магнитного сдвига“ для пермеметра, испытания при малых напряженностях поля производились в разомкнутой магнитной цепи.

В пермеметре образец испытывался при напряженностях поля от 30 до 500 эрстедов; при меньших напряженностях поля — в разомкнутой магнитной цепи. Пермеметр, применявшийся при этих испытаниях, имеет кольцевое ярмо из листовой электротехнической стали. Сечение ярма 5×5 см; средний диаметр ярма 25 см. Длина намагничивающей катушки 17 см. На концах намагничивающей катушки навиты с каждой стороны на про-

тяжении 3,5 см компенсационные витки, соединенные последовательно с главной обмоткой.

Образец зажимается в ярме при помощи конических вкладышей. В центральной части непосредственно на образец навивали измерительную обмотку. Метод измерений — нормальный баллистический. Индукция измерялась баллистическим гальванометром, напряженность поля вычисляли по формуле:

$$H = \kappa I$$

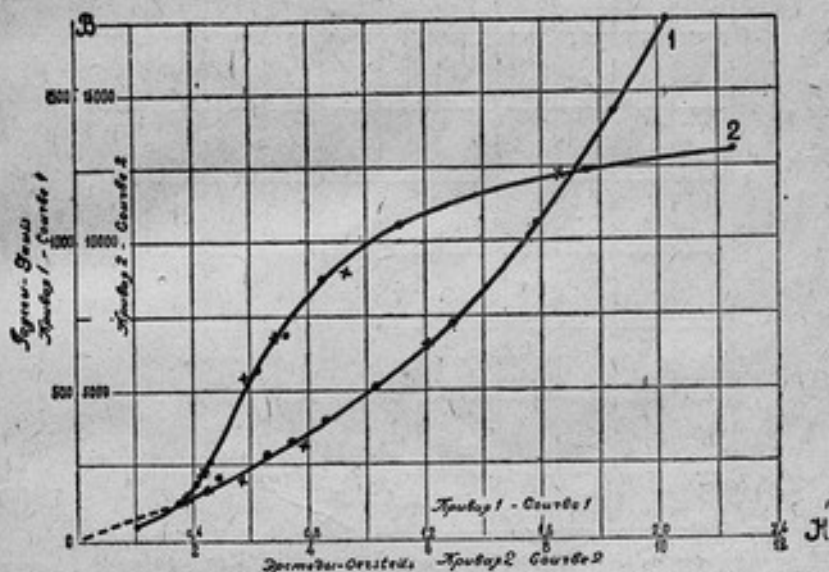


Рис. 2. Основная кривая намагничивания. Образец № 7. PTR 3983/84.

• — данные ВИС; × — данные PTR.

Fig. 2. Courbe d'aimantation fondamentale. Echantillon No 7. PTR 3983/84.

• — données de l'IMS; × — données de la PTR.

где κ — постоянная намагничивающей катушки, т. е. напряженность магнитного поля в эрстедах, на 1 ампер силы тока в центре катушки, без образца и ярма, измеренная баллистическим методом при помощи калиброванной измерительной катушки, I — сила тока в амперах.

В разомкнутой магнитной цепи измерения производились в прямолинейном цилиндрическом соленоиде так же, как и с эллипсоидом вращения. При вычислениях напряженности магнитного поля внутри образца, коэффициент размагничивания принят равным 0,0337 по данным PTR,

В PTR образец испытывался исключительно в пермеамetre. Полученная экспериментальная кривая намагничивания исправлялась, пользуясь имеющейся кривой „магнитного сдвига“.

Результаты измерений приведены в таблице II. На рис. 2 построены кривые намагничивания, полученные при испытании в ВИМС в разомкнутой магнитной цепи. На рис. 3 дана полная кривая намагничивания.

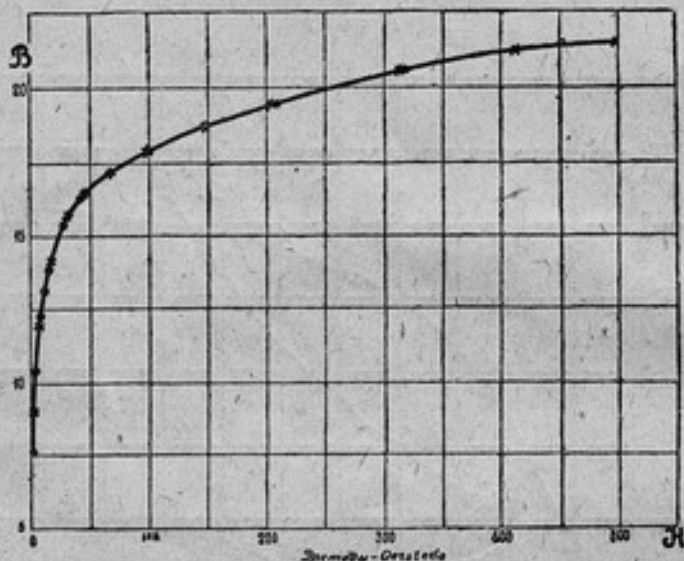


Рис. 3. Основная кривая намагничивания. Образец № 7. PTR 3983/84.

- — данные ВИМС (в пермеамetre); ○ — данные ВИМС (в разомкнутой магнитной цепи); × — данные PTR.

Fig. 3. Courbe d'aimantation fondamentale. Echantillon № 7. PTR 3983/84.

- — données de l'IMS; perméamètre; ○ — données de l'IMS, circuit magnétique ouvert; × — données de la PTR.

При сравнении приведенных результатов необходимо учитывать, что кривая намагничивания, измеренная в пермеамetre в ВИМС, не исправлялась, как указано выше, что неизбежно обуславливает известное расхождение результатов испытания в PTR и в ВИМС.

3. Испытание полосового образца прямоугольного сечения

Материал образца — закаленная вольфрамовая сталь. Размеры образца: $0,992 \times 2,015$ см; длина 40 см; сечение в средней части $1,999$ см². Образец имеет клеймо ВИМС и № 10; PTR и № 3983/84.

Таблица II—Tableau II

Основная (коммутационная) кривая намагничивания. Образец № 7; PTR 3983/84.
 Courbe d'aimantation fondamentale (de commutation). Echantillon No 7; PTR 3983/84.

P T R		ВИМС—IMS	
<i>H</i> эрстеды—oersteds	<i>B</i> гауссы—gauss	<i>H</i> эрстеды—oersteds	<i>B</i> гауссы—gauss
0,35	120	0,34	120
0,43	160	0,48	200
0,56	210	0,62	270
0,77	320	0,71	320
1,20	640	1,01	500
1,75	1240	1,59	1080
2,15	2270	2,02	1750
2,95	5320	2,71	3990
3,55	6960	3,67	6970
4,60	8830	4,28	8420
8,3	12080	8,77	12230
13,8	13990	11,4	13250
29,0	15690	29,2	15560
42,2	16360	41,9	16300
69,6	17170	69,6	17170
98,3	17760	98,3	17790
151,0	18570	150,5	18630
208	19290	210	19320
315	20250	317	20280
416	20870	414	20860
499	21230	512	21260

Перед испытаниями образец был подвергнут структурной стабилизации путем нагревания при 100° С, в течение 20 часов.

В ВИМС измерения производились баллистическим методом в пермеатре с прямоугольным ярмом. Ярмо из литого железа. Сечение ярма 4 × 5 см. Длина намагничивающей обмотки 30,9 см. На обоих концах обмотки навиты дополнительные компенсационные витки на длине 5,5 см с каждой стороны. Главная и компенсационная обмотки соединены последовательно. Внутренний просвет катушки 2 × 4,5 см. Магнитная индукция измерялась баллистическим гальванометром, соединенным с измерительной обмоткой, навитой на образец на протяжении 6 мм в центральной части. Напряженность магнитного поля вычисляли по постоянной намагничивающей катушки и силе тока в ней.

В PTR образец испытывался также баллистическим методом в пермеатре специальной конструкции. Магнитная индукция измерялась обычным путем баллистическим гальванометром. Напряженность магнитного поля также непосредственно измеря-

лась при помощи магнитного потенциометра Роговского-Штейнгауза на длине 10 см в центральной части образца (перемеастр еще не описан в литературе).

Результаты измерений приведены в таблице III и на рис. 4.

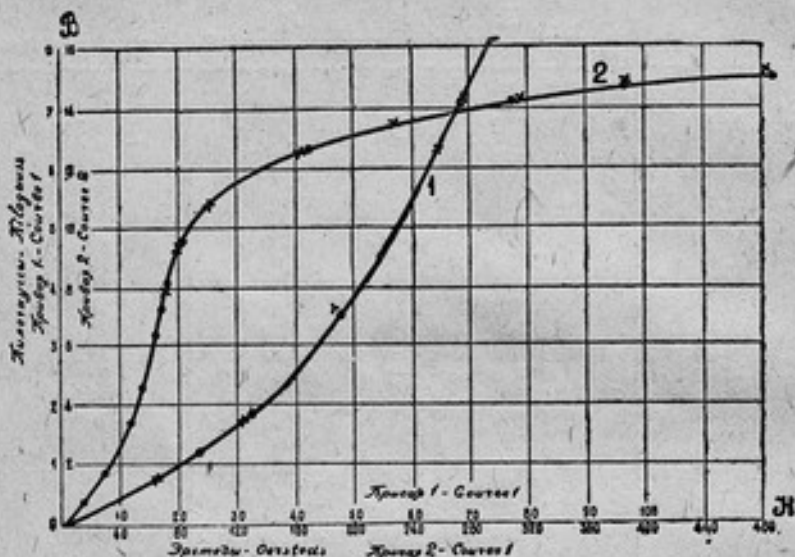


Рис. 4. Основная кривая намагничивания. Образец № 10. PTR 3988.

• — данные ВИМС; × — данные PTR.

Fig. 4. Courbe d'aimantation fondamentale. Echantillon No 10. PTR 3988.

• — données de l'IMS; × — données de la PTR.

4. Испытание образцов листовой электротехнической стали

Материал образцов — листовая трансформаторная сталь толщиной 0,35 мм. Из полос длиной 50 см, шириной 3 см составлено 4 пакета, каждый по 2,5 кг. Полосы вдоль и поперек прокатки листа в каждом пакете уложены в перемежку. Между отдельными полосами проложены прокладки из папиросной бумаги. Масса четырех пакетов 10 кг, плотность материала 7,55. Образцы первоначально испытывались в PTR, а затем отправлены в ВИМС. Образец имеет клеймо „Hauptk. f. M. и G. Leningrad“.

Измерения в ВИМС производились на дифференциальной установке Siemens und Halske последней конструкции. В PTR образцы испытывались баллистическим методом на приборе

Таблица III — Tableau III
 Основная (коммутационная) кривая намагничивания
 Образец № 10; PTR 3988
 Courbe d'aimantation fondamentale (de commutation)
 Echantillon No 10; PTR 3988

P T R		ВИМС — IMS	
<i>H</i> эрстеды — oersteds	<i>B</i> гауссы — gauss	<i>H</i> эрстеды — oersteds	<i>B</i> гауссы — gauss
16,3	740	16,3	740
32,6	1780	32,8	1800
48,5	3520	48,8	3490
55,2	4650	55,3	4650
64,1	6340	64,3	6360
68,6	7160	68,5	7180
73,9	8070	74,1	8150
84,2	9080	84,5	9460
102,7	10790	103,2	10830
169,7	12700	170,6	12720
234	13510	234	13500
320	14210	319	14190
394	14660	394	14610
489	15110	493	15080

Гумлиха и Роговского.¹ В качестве нормальных образцов применялись образцы, ранее испытанные в лаборатории PTR.

Измерения в ВИМС выполнены с пятью нормальными образцами. Результаты приведены в таблице IV.

Таблица IV — Tableau IV
 Сравнительные результаты измерений ВИМС и PTR
 Résultats des mesures à l'IMS et à la P. T. Reichsantalt

Магнитная индукция Induction magnétique	Среднее из измерений дифф. методом Moyenne des mesures à l'IMS, méthode de différences	Данные PTR Données de la PTR	Расхожд. в % к PTR Divergence en pour cent.
B_{25}	14590	14730	— 0,95%
B_{50}	15650	15740	— 0,57%
B_{100}	17020	17080	— 0,35%
B_{300}	19460	19610	— 0,76%

Значки 25, 50, 100 и 300 у буквы *B* обозначают ампер-витки, при которых определяли индукцию — Indices 25, 50, 100 et 300 placés en bas de la lettre *B* désignent les ampères-tours.

¹ E. Gumlich und W. Rogowski — Methode zur absoluten Bestimmung der Magnetisierung von Dynamoblech an Epstein'schen Bündeln — ETZ, 1912, т. 33, стр. 262.

5. Определение кривой гистерезисного цикла

Материал образца — закаленная вольфрамовая сталь. Образец № 10; PTR 3988, о котором было сказано выше (стр. 8).

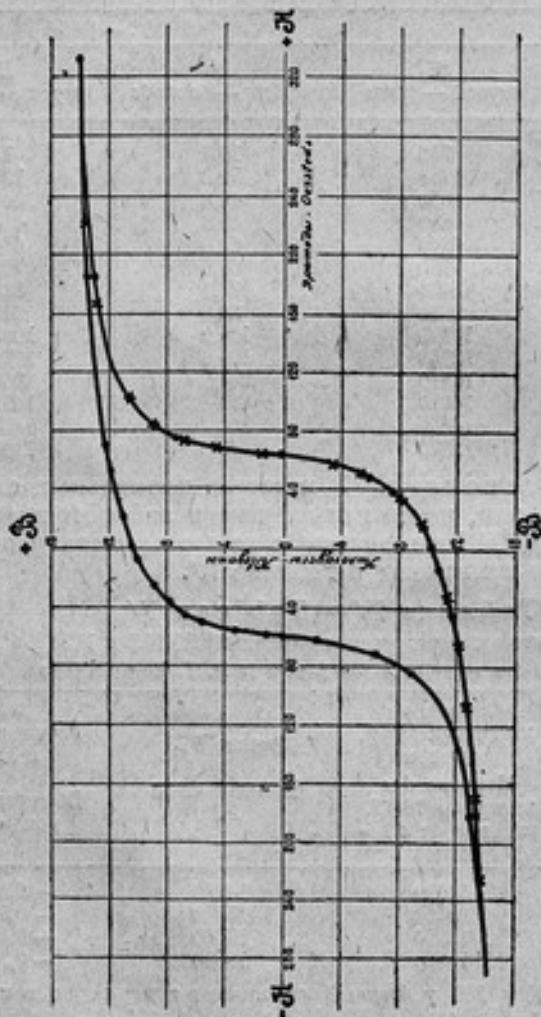


Рис. 5. Полная гистерезисная кривая. Образец № 10. PTR 3988.

• — данные ВИМС; × — данные PTR.

Fig. 5. Courbe complète de hystérésis. Echantillon No 10. PTR 3988.

• — données de l'IMS; × — données de la PTR.

Кривая гистерезисного цикла как в ВИМС, так и в PTR определялась баллистическим методом в пермеаметрах (стр. 9). Результаты измерений для нисходящей ветви цикла приведены

в таблице V. На рис. 5 построена полная гистерезисная кривая, при чем для ясности на нисходящей ветви нанесены точки, измеренные в ВИМС на восходящей — в PTR.

Остаточная индукция оказалась равной:

По данным PTR: 10100 гауссов
 " " ВИМС: 10140 "

Коэрцитивная сила:

По данным PTR: 61,0 эрстеда
 " " ВИМС: 62,0 "

Таблица V—Tableau V

Нисходящая ветвь гистерезисного цикла. Образец № 10; PTR 3988.
 Branche descendante du cycle d'hystérésis. Echantillon No 10; PTR 3988.

P T R		ВИМС—IMS	
H эрстеды—oersteds	B гауссы—gauss	H эрстеды—oersteds	B гауссы—gauss
+ 489	+ 15110	+ 500	+ 15240
396	14700	428	14920
320	14300	329	14290
235	13730	188	13410
172	13180	65,6	11860
107,2	12430	46,9	11500
66,9	11810	18,8	10770
+ 32,8	11090	+ 9,4	10470
- 0,9	10060	- 9,4	9750
- 17,6	9310	28,1	8690
33,7	8210	37,5	7840
49,4	5940	46,8	6480
55,8	+ 3570	51,6	5210
63,7	- 1760	56,2	3320
67,9	4260	60,0	+ 1150
72,9	6410	84,4	- 8920
83,0	8750	188	13040
102,4	10630	328	14260
169,0	12670	- 500	- 15240
233	13500		
320	14200		
394	14660		
- 489	- 15110		

Для данного образца в ВИМС были произведены также измерения коэрцитивной силы в разомкнутой магнитной цепи в пустотелом цилиндрическом соленоиде. Соленоид располагали так, чтобы его ось была перпендикулярна плоскости земного магнит-

ного меридиана. Образец укрепляли в соленоиде в его центральной части таким образом, что один его конец оставался свободным и с образца можно было сдвигать измерительную катушку, соединенную с гальванометром. Образец намагничивали при максимальной напряженности поля катушки, равной 446 эрстедам. Затем намагничивающий ток постепенно уменьшали до минимума, выключали цепь, снова включали ток в направлении обратном предыдущему. Постепенно увеличивали силу тока, а вместе с тем и величину размагничивающего поля. При каждой силе тока замечали отклонение гальванометра, сдвигая с нейтральной зоны образца измерительную катушку.

При измерениях катушка сдвигалась только с образца, не выходя из соленоида.

Наблюдения продолжали до тех пор, пока при некоторой силе тока в соленоиде гальванометр не давал отклонений при сдвигании измерительной катушки с образца. По силе тока и постоянной соленоида вычисляли напряженность размагничивающего поля, которая численно равна коэрцитивной силе образца.

Практически не всегда удается точно подобрать такую силу размагничивающего тока, чтобы гальванометр при сдвигании измерительной катушки не давал отклонения. Без ущерба для точности измерений можно, однако, не добиваясь этого, произвести два наблюдения отклонений гальванометра: одно — при некоторой силе тока, в области близкой к коэрцитивной силе, когда образец еще не перемагнитился, и другое — при несколько большей силе тока, когда намагничение образца изменилось по направлению. Интерполированием легко определить силу тока, соответствующую коэрцитивной силе, т. е. нулевому отклонению гальванометра. Подобная интерполяция обеспечивает достаточную точность, так как вблизи коэрцитивной силы участок гистерезисной кривой может быть принят за прямую.

Точность описанного метода значительно превосходит точность измерений коэрцитивной силы в пермеатрах. Для данного образца коэрцитивная сила, измеренная этим методом, оказалась равной 61,20 эрстеда, что весьма близко совпадает с данными измерения в PTR, где коэрцитивная сила определялась на магнитометре также в разомкнутой магнитной цепи.

6. Испытания в сильных магнитных полях

Круглый цилиндрический образец. Сравнительные испытания производились с железным прямолинейным цилиндрическим образцом. Образец имеет клеймо ВИМС и № 6, PTR и № 3981/82.

Длина образца 41,8 см, средний диаметр 0,603 см.

Метод измерений в ВИМС и в PTR одинаков, а именно метод ярма-перешейка Гумлиха.

На рис. 6 представлен общий вид пермеаметра ВИМС для испытаний в сильных магнитных полях. Пермеаметр состоит из круглого ярма листовой трансформаторной стали, намагничивающей катушки и специального вкладыша из мягкого железа, помещаемого внутрь намагничивающей катушки. Вкладыш представляет два полых цилиндра, скрепленных между собой латунной трубкой. Между цилиндрами образуется перешеек длиной 12 мм. В перешеек помещена измерительная катушка. Катушка

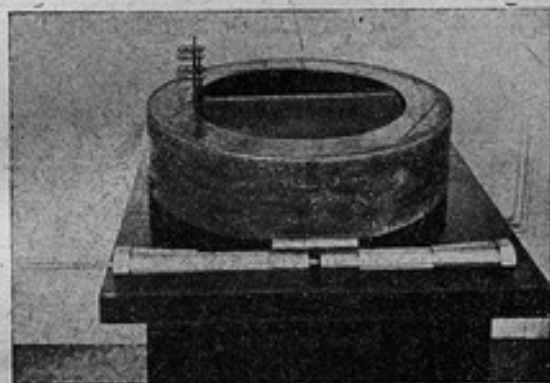


Рис. 6. Пермеаметр ВИМС.
Fig. 6. Perméamètre de l'IMS.

имеет латунную гильзу толщиной 0,2 мм и эбонитовые фланцы. Непосредственно на гильзу намотана первая обмотка в два слоя. Поверх обмотки положен слой изоляции и затем навита вторая обмотка также в два слоя. Поверх второй обмотки положен слой изоляции и намотана третья обмотка. Далее слой изоляции и четвертая обмотка. Все обмотки имеют одинаковое число витков. Концы каждой обмотки тщательно перекручены и выведены наружу по канавкам в железных цилиндрах. Катушка проградуирована магнитным способом в солениоде, т. е. измерены постоянные отдельных обмоток (произведение среднего сечения обмотки на число витков). Зная постоянные обмоток— S_n , где S —среднее сечение в кв. сантиметрах, n —число витков, и число витков, не трудно вычислить средний диаметр каждой обмотки.

При испытании образец вставляется в отверстие во вкладыше и зажимается в ярме вместе с вкладышем. Индукция из-

мерялась обычным баллистическим методом, соединяя первую обмотку с гальванометром и наблюдая отклонение его при переключении намагничивающего тока.

Для измерения напряженности поля соединяют поочередно обмотки 1—2, 2—3 и 3—4 навстречу друг другу и последовательно с баллистическим гальванометром. Отклонение гальванометра, полученное при переключении намагничивающего тока, пропорционально потоку в воздушном зазоре между обмотками 1—2, 2—3 или 3—4. Так как эти зазоры весьма не велики, порядка 1 мм, можно считать, что плотность магнитного потока в каждой из зон одинакова. Напряженность поля в каждой зоне, отнесенная к среднему диаметру зоны, вычисляется по формуле:

$$H_{1,2} = \frac{\Phi}{2(Sn)_{1,2}},$$

где $(Sn)_{1,2} = (Sn)_2 - (Sn)_1$ — соответственно для второй и первой обмотки, Φ — магнитный поток в максвеллах, измеренный по отклонению гальванометра.

Таким же путем вычисляют напряженность поля $H_{2,3}$ и $H_{3,4}$. Определив напряженность поля для трех зон при одной и той же силе намагничивающего тока, строят диаграмму распределения напряженности поля по высоте перешейка. Напряженность поля H_0 на поверхности образца, которую можно считать равной напряженности поля в образце, определяют экстраполированием полученных кривых распределения напряженности поля. При вычислении индукции вводят поправку на поток в воздушном зазоре между образцом и первой измерительной обмоткой. При вычислении поправки принимают напряженность поля H_0 в средней зоне между поверхностью образца и первой обмоткой.

Результаты измерений, полученные в ВИМС, приведены в таблице VI.

На основании произведенных измерений построена кривая $B = f(H)$ и для сравнения с данными испытания в PTR, из кривой взяты индукции, соответствующие напряженностям поля, для которых произведены измерения в PTR.

Сравнительные результаты приведены в таблице VII.

Из полученных данных вычислена величина внутренней магнитной индукции при насыщении $B_s = B - H_0$, как средняя из 4 измерений, приведенных в таблицах.

По данным ВИМС $B_s = 21190$ гауссов
По данным PTR $B_s = 21170$.

Таблица VI—Tableau VI

Основная (коммутационная) кривая намагни-
чения. Образец № 6; PTR 3981/82Courbe d'aimantation fondamentale (de com-
mutation) Echantillon No 6; PTR 3981/82

H эрседлы — oersteds	B гауссы — gauss	$B_1 = B - H\mu_0$ гауссы — gauss
870	21780	20910
1375	22320	20950
1815	22850	21040
2630	23710	21080
3175	24280	21110
3845	25020	21180
4355	25540	21190
4765	25940	21180
5400	26520	21220

Таблица VII—Tableau VII

H эрседлы — oersteds	B гауссы — gauss		Расхождение в % Divergence en pour cent.
	PTR	ВИМС—IMS	
1010	22050	21900	+ 0,68
1650	22780	22630	+ 0,66
2700	23860	23790	+ 0,29
3630	24820	24750	+ 0,28
4690	25870	25860	+ 0,04
5590	26750	—	—

Образец листовой электротехнической стали. Материал образца — листовая электротехническая сталь толщиной 0,50 мм. Испытуемый образец составлен из 8 полос шириной 1,5 см, длиной 35 см. Образец имеет клеймо ВИМС и № 3; PTR и № 3980. Плотность материала принята равной 7,65, сечение образца, вычисленное по массе и плотности материала, 0,552₀ см².

Испытание в лаборатории PTR производили описанным выше методом ярма-перешейка. В соответствии с формой (прямоугольной) испытуемого образца измерительная катушка в перешейке и отверстие во вкладыше имеют прямоугольную форму.¹

В магнитной лаборатории ВИМС принципиально применен тот же метод ярма-перешейка с тем лишь отличием, что напряженность поля измерялась при помощи плоских измерительных

¹ E. Gumlich. Leitfaden der magnetischen Messungen, 1918.

катушка не обмотана витками на фильзу, охватывающую катушку, как в оригинальном аппарате Гум-лиха.

Обмотка каждой из таких катушек навита на деревянную полосу толщиной 8 мм. Катушки одна на другую должны быть намотаны так, чтобы ось их была параллельна плоскости образца. Пользуясь этими катушками, измеряли по высоте перешейки, катодной лампы, напряженность воздуха по высоте перешейки, катодной лампы, напряженность поля по высоте перешейки, катодной лампы, напряженность поля на поверхности образца, индукции непосредственно в центре катушки. В образном месте измерения рассчитали логически выведенным способом для цилиндрической кривой намагниченности для сравнения с данными для кривой намагниченности для цилиндрической кривой намагниченности. Сравнительные результаты испытания в PTR и в ВИМС приведены в таблице VIII.

Таблица VIII — Tableau VIII

Основная коммутационная кривая намагниченности
Образец № 3; PTR 3980
Sable d'almandin fondamental (decommutation)
Echantillon N° 3; PTR 3980

H эрстедс oersteds	B гауссы — gauss		Расхождение в % к PTR Divergence en pourcent.
	PTR	ВИМС—IMS	
1626	22120	S 22000	— 0,54
2443	23010	22900	— 0,48
3328	23930	23860	— 0,29
4171	24820	24790	— 0,12
4962	25620	25600	-0,08

Величина внутренней магнитной индукции при насыщении
определилась: По данным PTR $B_0 = \frac{I}{r} = \frac{I}{r} = \frac{I}{r} = 20640$ по данным ВИМС
 $B_0 = 20650$.

7. Определение потерь на гистерезис и токи Фуко

Испытания производились с образцом листовой трансформаторной стали завода Eisen und Hüttenwerke в Бохуме, с клеймом: Hauptk. f. M. u. G. Leningrad. Данные образца приведены на стр. 10.

Испытания как в PTR так и в ВИМС производились нормальным ваттметровым методом на аппарате Эпштейна с двумя обмотками при частоте 50 герц для максимальных индукций 10000 и 15000 гауссов. Результаты измерений отнесены к синусоидальной кривой напряжения и температуре 20°C.¹

Измерения в ВИМС производились на аппарате Эпштейна, конструкции магнитной лаборатории, построенном заводом „Электрик“.²

Мощность измерялась динамометрическими стрелочными зеркальными ваттметрами фирмы Weston специальной конструкции для малых коэффициентов мощности. Частота измерялась при помощи вольтметра проградуированного на частоту в герцах, который включался в цепь магнитоэлектрического генератора постоянного тока, укрепленного на оси агрегата, питающего ваттметровую установку. Среднее значение напряжения, необходимое для вычисления коэффициента формы кривой измерять при помощи механического дискового выпрямителя. Температура измерялась при помощи термоэлемента, помещаемого внутрь намагничивающей катушки аппарата Эпштейна.

Бумажные прокладки в угловых стыках пакетов не применялись, в отличие от принятого порядка в PTR.

Помимо измерения потерь, при индукции близкой к заданной, производились также измерения при индукциях, более заметно отличающихся от заданной (примерно на 200—500 гауссов) в ту и другую сторону. По этим данным строилась кривая зависимости потерь и индукции, из которой определялись потери для заданной индукции, что служило контролем от случайных ошибок наблюдений. В остальном как в самой методике, так и в расчетах имеется полная аналогия с PTR.

Помимо ваттметрового метода в лаборатории ВИМС были произведены испытания образца дифференциальным методом на установке Siemens und Halske. В качестве нормальных об-

¹ Подробное описание аппаратуры, методики измерений и расчетов, принятых в PTR, даны в статье Е. Г. Шрамкова. Методы и аппаратура для магнитных испытаний в научно-исследовательских лабораториях Германии.—Труды ВИМС, вып. 1 (17), 1932 г., стр. 3.

² Подробное описание аппарата помещено в статье Е. Г. Шрамкова. Измерения магнитной проницаемости и потерь листовой электротехнической стали на приборе типа Эпштейна.—Электричество, 1929 г., № 5.

разцов применялись образцы, ранее испытанные в лаборатории PTR, а также в лаборатории ВИС ваттметровым методом. При измерении полных потерь на гистерезис и токи Фуко дифференциальным методом были проделаны следующие эксперименты.

С одним и тем же нормальным образцом производили два измерения, одно — когда нормальный образец помещен в нижний аппарат Эпштейна, а испытуемый — в верхний. Затем образцы были перемещены в аппаратах Эпштейна. Среднее из этих наблюдений брали как результат измерений. Подобные измерения были сделаны с несколькими нормальными образцами. Расхождения между отдельными измерениями с одним и тем же нормальным образцом достигали порядка 2%. Величина напряжения в этих опытах вычислялась, исходя из стандартной плотности для нормального образца и массы 10 кг. Коэффициент формы кривой напряжения принимался равным 1,11. Так как напряжение устанавливается, исходя из сечения нормального образца, то если плотности нормального и испытуемого образцов различны, индукция в них также неодинакова. Чтобы учесть это, необходимо пересчитать измеренные потери применительно к заданной индукции. Не трудно показать, что потери на гистерезис изменятся обратно пропорционально степени 1,6 отношения плотностей нормального и испытуемого образцов, если принять классическую формулу Штейнмеца:

$$\frac{P_h}{P'_h} = \left(\frac{\gamma_n}{\gamma_x} \right)^{1,6}$$

где P_h — искомые потери на гистерезис для заданной индукции в испытуемом образце, P'_h — потери на гистерезис для некоторой индукции, отличной от заданной; γ_n и γ_x — соответственно плотности нормального и испытуемого образцов.

Потери на токи Фуко обратно пропорциональны квадрату отношения плотностей:

$$\frac{P_f}{P'_f} = \left(\frac{\gamma_n}{\gamma_x} \right)^2$$

Как показывают последние исследования, потери на гистерезис для сильно кремнистой стали, т. е. для трансформаторной, с которой в данном случае производились испытания, изменяются в зависимости от индукции в степени большей чем 1,6, достигая даже третьей степени при индукциях выше 10000 гауссов. Учитывая это обстоятельство, пересчет полных потерь, измеренных непосредственно, производился по формуле:

$$P_x = P'_x \left(\frac{\gamma_n}{\gamma_x} \right)^2$$

где P'_x — непосредственно измеренные потери на 1 кг. При обычных измерениях потерь дифференциальным методом не учитываются добавочные потери в сопротивлениях, последовательно включенных со вторичными обмотками аппаратов Эпштейна. В данном случае эти потери принимались во внимание, и вычисления производились по нижеследующим формулам.

Полные потери в образце массой 10 кг, если считать, что включена только одна половина дифференциальной установки, определяются из формулы:

$$P = 10p = P' - \frac{U_2^2}{r},$$

где p — истинные потери на 1 кг, P' — измеренные потери для всего образца ($P' = 10p'$), p' — измеренные потери на 1 кг, U_2 — напряжение на зажимах вторичной обмотки аппарата Эпштейна.

Пользуясь вышеуказанной формулой, получим применительно к дифференциальной схеме:

$$P_x = \frac{P_n r_n}{r_x} \cdot \frac{10p'_x r_x - U_2^2}{10p_n r_n - U_2^2},$$

Значки x и n относятся соответственно к испытываемому и к нормальному образцам.

Таблица IX — Tableau IX

Ваттметровый метод на аппарате
Эпштейна.

Methode du wattmètre, appareil d'Epstein.

Ватты на кг для индукции 10 000 гауссов		Расхождение в % Divergence en pour cent
Watts par kg pour l'induction de 10 000 gauss		
PTR	ВИМС—ИМС	
1,19	1,20	+ 0,83%
Ватты на кг для индукции 15 000 гауссов		Расхождение в % Divergence en pour cent
Watts par kg pour l'induction de 15 000 gauss		
PTR	ВИМС—ИМС	
2,78	2,80	+ 0,71%

Таблица X—Tableau X

Дифференциальный метод в ВИСМ

Méthode différentielle à l'IMS

Ватты на кг для индукции 10 000 гауссов Watts par kg pour l'induction de 10 000 gauss					Примечания Remarques
Образцы—Echantillons					
PTR 3521/22	PTR 3523/24	IMS 57	IMS 69	Среднее Moyenne	
1,211	1,185	1,194	1,182	1,193	Напряжение вычислялось, принимая коэффициент формы кривой = 1,11. Внесены поправки на потери во вторичной цепи и на разную плотность образцов. Pour le calcul de la tension on a pris le coefficient de la forme de courbe = 1,11 et on a introduit les corrections pour les pertes dans le circuit secondaire et pour la différence de densité des échantillons.
1,212	1,184	1,199	1,184	1,195	То же, без поправок. Le même, sans corrections.
1,211	1,188	1,206	1,202	1,202	Напряжение вычислялось, принимая коэффициент формы кривой соответственно условиям опыта. Внесены поправки на потери во вторичной цепи и на разную плотность образцов. Pour le calcul de la tension on a pris le coefficient de la forme de courbe correspondant aux circonstances de l'expérience et on a introduit les corrections pour les pertes dans le circuit secondaire et pour la différence de densité des échantillons.
1,220	1,186	1,209	1,202	1,204	То же, без поправок. Le même, sans corrections.
Среднее из средних Moyenne des moyennes				1,199	—

Таблица XI—Tableau XI

Дифференциальный метод в ВИМС

Méthode différentielle à GIMS

Ватты на кг для индукции 15000 гауссов Watts par kg pour l'induction de 15000 gauss					Примечания Remarques
Образцы—Echantillons					
PTR 3521/22	PTR 3523/24	IMS 57	IMS 69	Среднее	
2,820	2,772	2,741	2,860	2,798	Напряжение вычислялось, принимая коэффициент формы кривой = 1,11. Введены поправки на потери во вторичной цепи и на разные плотности образцов. Pour le calcul de la tension on a pris le coefficient de la forme de courbe = 1,11 et on a introduit les corrections pour les pertes dans le circuit secondaire et pour la différence de densité des échantillons.
2,800	2,746	2,722	2,864	2,783	То же, без поправок. Le même, sans corrections.
2,848	2,797	2,748	2,852	2,811	Напряжение вычислялось, принимая коэффициент формы кривой, соответствующий условиям опыта. Внесены поправки на потери во вторичной цепи и на разные плотности образцов. Pour le calcul de la tension on a pris le coefficient de la forme de courbe correspondant aux circonstances de l'expérience et on a introduit les corrections pour les pertes dans le circuit secondaire et pour la différence de densité des échantillons.
2,828	2,764	2,731	2,857	2,795	То же, без поправок. Le même, sans corrections.
Среднее из средних Moyenne des moyennes				2,800	—

Таблица XII—Tableau XII
Сравнение с данными PTR
Comparaison avec les données de la PTR

P_{1000}			P_{100}		
Ваттметр. метод Méthode du wattmètre PTR	Дифференц. метод Méthode différentielle IMS	Расхождение в % Divergence en pour cent	Ваттметр. метод Méthode du wattmètre PTR	Диффер. метод Méthode différentielle IMS	Расхождение в % Divergence en pour cent
1,19	1,199	+ 0,76%	2,780	2,80	+ 0,71%

Таблица XIII—Tableau XIII

Характеристика образцов
Caractéristique des échantillons

Образцы Echantillons	Потери в ваттах на килограмм Pertes en watts par kg		Плотность Densité	Время испытания Date des essais
	$B_{max}=10\ 000$	$B_{max}=15\ 000$		
PTR 3521/22	1,54	3,31	7,6	5/XI—1926
PTR 3523/24	1,33	3,00	7,6	5/XI—1926
ВИМС—IMS 57	1,44	3,20	7,6	24/VIII—1928
ВИМС—IMS 69	1,21	2,95	7,55	12/IV—1929

Сопротивления r_x и r_n численно в 10 000 раз больше соответственно p'_x и p_n , т. е. $r_x = 10\ 000 p'_x$, $r_n = 10\ 000 p_n$. Тогда

$$p_x = \frac{p_n^2}{p'_x} \cdot \frac{100\ 000 p_x'^2 - U_x^2}{100\ 000 p_n^2 - U_x^2}$$

Как показали сравнительные подсчеты, не наблюдалось заметных расхождений между потерями, полученными непосредственными измерениями без вышеуказанных пересчетов и сведением их. Расхождения не превышают 2%/о, т. е. той точности, которую вообще можно ожидать от дифференциального метода.

Помимо этих измерений были проведены испытания того же образца с разными нормальными образцами, устанавливая напряжение, вычисленное, принимая коэффициент формы кривой, соответствующий данным условиям опыта. И в этом случае измеренные потери давали отклонения от величины потерь, измеренных ваттметровым методом, не превышающие 2%. Результаты сравнительных испытаний приведены в таблицах IX—XII.

Характеристики нормальных образцов, которыми пользовались при измерениях в ВИМС на дифференциальной установке, приведены в таблице XIII.

Нормальные образцы с обозначением PTR испытывались в Physikalisch-Technische Reichsanstalt, с обозначениями ВИМС в ВИМС.

Заключение 1. Нормальные испытания образцов ферромагнитных материалов в ВИМС дают результаты, согласующиеся, в пределах допустимых погрешностей, с данными испытания в PTR как в отношении кривых намагничивания, так и потерь на гистерезис и токи Фуко.

2. Как следствие из произведенной работы вытекает, что для получения сравнимых результатов необходимо унифицировать типы и конструкции пермеэметров, применяемых в разных лабораториях СССР, снабдив их соответствующими кривыми магнитных сдвигов.

ESSAIS MAGNETIQUES COMPARATIFS FAITES AUX LABO-
RATOIRES MAGNETIQUES DE LA P. T. REICHSANSTALT ET
DE L'INSTITUT DE METROLOGIE ET STANDARDISATION DE
L'U.R.S.S.

Par E. G. Chramkov

(Résumé)

En 1929 le Laboratoire des Etalons magnétiques de l'Institut de Métrologie et Standardisation de l'U.R.S.S. (IMS) a entrepris des essais magnétiques comparatifs aux Laboratoires magnétiques de la P. T. Reichsanstalt (PTR) à Berlin et de l'IMS.

Objets d'essais furent des échantillons de matières ferromagnétiques en forme d'ellipsoïdes de rotation, de tiges cylindriques et de barreaux.

Les essais de matières magnétiques se rapportaient à la détermination des courbes d'aimantation fondamentales et de celles de hystérésis. Pour des échantillons de tôle d'acier électrotechnique on a mesuré aussi les pertes par l'hystérésis et par courants de Foucault.

a) Essai d'un ellipsoïde de rotation en fer doux. Dimensions de l'ellipsoïde: le grand axe est de 200,12 mm, le petit axe est de 10,026 mm.

Les essais magnétiques à l'IMS ont été exécutés par la méthode ballistique avec circuit magnétique ouvert à l'intérieur d'un solénoïde cylindrique creux de 1 mètre de longueur. A la PTR l'ellipsoïde a été essayé sur le magnétomètre astatique de Kohlrausch et Hohlborn.

En calculant l'intensité du champ magnétique dans l'ellipsoïde on a pris le facteur de démagnétisation dans les deux cas égale à 0,0848, d'après les données de la PTR.

Les résultats des mesures pour la courbe d'aimantation fondamentale (de commutation) sont reproduits dans le tableau I.

A cause d'un rapport un peu défavorable des dimensions de l'ellipsoïde (le facteur trop grand de démagnétisation), la précision des mesures, surtout aux petites intensités du champ, n'était pas assez grande, ce qui faisait explicable la divergence relativement considérable entre les données de la PTR et de l'IMS.

b) Essai d'un échantillon cylindrique. On a essayé un échantillon de fer doux ayant la longueur de 30 cm et le diamètre de 1,001 cm. A l'IMS l'essai a été fait en partie dans le perméamètre avec

le circuit magnétique fermé, en partie dans le solénoïde avec le circuit magnétique ouvert. Le dernier procédé se rapporte à l'essai aux petites intensités du champ. Les courbes reçues à l'essai dans le perméamètre ont été considérées comme les courbes vraies. A défaut de la disposition magnétométrique à l'IMS en 1929 il était impossible d'obtenir des courbes du „déplacement magnétique“ pour le perméamètre.

A la PTR l'essai a été fait entièrement dans le perméamètre. Les courbes expérimentales d'aimantation ont été corrigées d'après les courbes du „déplacement magnétique.“ Au tableau II figurent les résultats des mesures concernant la courbe fondamentale d'aimantation.

c) Essai d'un échantillon en forme de barreau d'acier de tungstène magnétique trempé. Dimensions de l'échantillon: section de $0,092 \times 2,015$ cm², longueur de 40 cm.

L'échantillon, après la trempe, fut soumis à la stabilisation structurale par le chauffage à 100° C durant 20 heures. Cet échantillon fut essayé à l'IMS aussi bien qu'à la PTR par la méthode ballistique dans les perméamètres.

A l'IMS on calculait l'intensité du champ magnétisant d'après la constante de la bobine magnétisante et l'intensité du courant. A la PTR l'intensité du champ fut mesurée à l'aide du potentiomètre magnétique de Rogovsky-Steinhaus.

Les résultats des mesures pour la courbe d'aimantation fondamentale sont rapportés dans le tableau III et pour la branche descendante du cycle d'hystérésis dans le tableau V.

L'induction résiduelle est égale:

D'après les données de la PTR	à 10 100	gauss
D'après les données de l'IMS	à 10 140	„

La force coercitive est égale:

D'après les données de la PTR	à 61,0	oersteds
D'après les données de l'IMS	à 62,0	„

On a mesuré aussi à l'IMS la force coercitive de cet échantillon au circuit magnétique ouvert dans un solénoïde cylindrique creux. L'échantillon a été fixé dans la partie centrale du solénoïde, de sorte qu'un de ses bouts restât libre et qu'on pût en détacher la bobine de mesure connectée au galvanomètre. On aimantait l'échantillon, puis on réduisait le courant jusqu'à zéro et ensuite on faisait l'inversion du courant. En augmentant peu à peu l'intensité du courant démagnétisant, on observait la déviation du galvanomètre au moment de détacher la bobine de mesure. On continuait des observations tant que le galvanomètre, à une certaine intensité du courant dans le solénoïde, ne manifestait aucune déviation, quand on détachait la bobine de mesure. D'après l'intensité du courant et la constante du

solénoïde on a calculé l'intensité du champ démagnétisant numériquement égale à la force coercitive de l'échantillon. Pour l'échantillon essayé la force coercitive a été trouvée égale à 61,2 oersteds, ce qui presque coïncide avec les données de la PTR (61 oersteds).

d) Essai des échantillons de tôle d'acier électrotechnique. On essayait des échantillons de tôle d'acier pour transformateurs sous le rapport de la perméabilité magnétique et des pertes par hystérésis et par courants de Foucault.

On déterminait à l'IMS les courbes d'aimantation sur le dispositif différentiel de Siemens und Halske, et à la PTR, par la méthode ballistique sur l'appareil de Gumlich-Rogowsky. Les résultats des mesures obtenus à l'IMS et à la PTR sont mis en parallèle dans le tableau IV.

Les mesures des pertes par hystérésis et par les courants de Foucault ont été effectuées à la PTR et à l'IMS par la méthode du wattmètre sur l'appareil d'Epstein, à deux enroulements aux inductions magnétiques maxima de 10 et 15 kilogauss, à la courbe sinusoidale de la tension et à la température de 20° C. On a introduit à deux laboratoires toutes les corrections nécessaires pour le coefficient de la forme de courbe, pour la température et pour le flux dans l'évent d'air entre l'échantillon et l'enroulement.

La divergence maximum entre les données de la PTR et de l'IMS n'est que de 0,83 pour cent (tableau IX).

Outre la méthode du wattmètre on a effectué des essais à l'IMS avec le même échantillon sous rapport de pertes sur le dispositif différentiel. Comme titre d'échantillons de référence on a pris pour ces mesures les échantillons qui avaient été essayés auparavant à la PTR et à l'IMS. La caractéristique de ces échantillons est rapportée dans le tableau XIII. Les échantillons ayant la marque de la PTR ont été essayés à la PTR; ceux avec la marque de l'IMS à l'IMS.

Les résultats des mesures par la méthode différentielle sont rapportés dans les tableaux X et XI. Les résultats moyens obtenus par la méthode différentielle coïncident pratiquement avec ceux de la méthode du wattmètre et ne diffèrent des données de la PTR que de 0,76 pour cent au maximum.

e) Essais des échantillons cylindriques et en tôle dans les champs magnétiques forts. Ces essais concernaient la détermination des courbes d'aimantation fondamentales dans la section de la saturation. La méthode de mesures fut la même à l'IMS et à la PTR: la méthode de la culasse Gumlich. La fig. 6 représente le perméamètre de l'IMS servant aux essais des échantillons cylindriques dans les champs magnétiques forts.

Les résultats des mesures sont rapportés dans le tableau VI pour l'échantillon cylindrique et dans le tableau VIII pour l'échantillon d'acier électrotechnique en tôle.

Les valeurs de l'induction magnétique intérieure à la saturation furent définies, comme il suit:

Pour l'échantillon cylindrique:

D'après les données de l'IMS $B_S = 21190$ gauss

D'après les données de la PTR $B_S = 21170$ "

Pour l'acier électrotechnique en tôle:

D'après les données de l'IMS $B_S = 20650$ gauss

D'après les données de la PTR $B_S = 20640$ "

Les essais comparatifs démontrent la concordance satisfaisante des résultats obtenus à la PTR et à l'IMS. Les divergences observées se trouvent dans les limites de la précision qu'on peut atteindre en prenant en considération l'état actuel de la technique de mesures magnétiques.

МАГНИТНАЯ ВОСПРИИМЧИВОСТЬ ЛАТУНИ С РАЗЛИЧНЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ЖЕЛЕЗА И МЕТОД ИСПЫТАНИЯ СЛАБОМАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Н. И. Спиридович

Исследование магнитных свойств слабомагнитных материалов, а также разработка метода определения антимагнитности изделий из цветных металлов является вопросом не только интересным в ряду других научно-исследовательских работ, но вопросом тесно связанным с металло-обрабатывающей промышленностью, в разрешении которого, хотя бы по отношению к латуни, весьма заинтересованы такие заводы, как напр., Ленинградский государственный медеобрабатывающий завод, первый государственный завод по обработке цветных металлов, Всесоюзное объединение „Цветметзолото“ и др. заводы Союза ССР, а также различные физико-механические мастерские, изготавливающие компаса, магнитометры, приборы, применяемые в области измерения элементов земного магнетизма и при различных геофизических изысканиях, где одним из главных условий правильной и точной работы является антимагнитность материала, из которого изготавливаются применяемые приборы и их детали.

В настоящее время эталонной магнитной лабораторией Всесоюзного Научно-исследовательского Института метрологии и стандартизации (ВИМС) произведена работа по исследованию магнитных свойств латунных образцов, конечной целью которой должна быть выработка технических условий, необходимых при оценке степени магнитности латуни, и установление соответствующего стандарта на слабомагнитный материал. Для выполнения указанной работы лабораторией сконструирован, а мастерскими ВИМС изготовлен астатический магнитометр, вид и схема которого даны на рисунках 1 и 2. Главной частью прибора являются магниты. Магнитометр имеет систему из двух магнитов, расположенных друг над другом и удаленных один от другого на расстояние 70 см; они соединены между собой легкой алюминиевой штангой А, имеющей на концах латунные муфточки для помещения магнитов.

Магниты (Б—верхний магнит) в форме цилиндра длиной в 140 мм и диаметром 8 мм, изготовленные из кобальтовой стали,

были термически обработаны и закалены в магнитной лаборатории. Магнитные моменты их, как показали измерения угла отклонения магнитометра, вызванного действием каждого из магнитов, почти одинаковы, с относительной разностью в 1%. Эти магниты, заключенные в массивные демпфера В, повернуты относительно друг друга на 180° , чем достигается уменьшение действия земного магнитного поля. Магнитная система при помощи находящегося в домике Г маленького латунного стерженька — подвесика с укрепленным на нем зеркальцем Д подвешена на фосфористо-бронзовой лентообразной нити Е к крутильной головке Ж, покоящейся на стеклянной трубке З; нижний конец трубки укреплен при помощи латунной накладки И в корпусе прибора. Прибор снабжен треногой К с тремя установочными винтами Л, при помощи которых он может быть выверен на подставке. Под демпфером верхнего магнита расположена перпендикулярно к направлению магнитного меридиана деревянная шина, укрепленная на отдельной подставке и разделенная на миллиметры по 50 см в обе стороны от нулевого деления, нанесенного по середине шины и совпадающего с продольной осью магнита, когда последний находится в плоскости магнитного меридиана. Справа и слева от магнита по шине скользят снабженные указателем салазки с вилкообразными подставками для помещения на них испытуемых образцов. Последние подносились к одному из полюсов магнита так, чтобы площадь поперечного сечения образца была расположена в вертикальной плоскости перпендикулярно к оси магнита.¹ Откло-



Рис. 1.—Fig. 1.

¹ Применяются также приборы для определения магнитной восприимчивости минералов и горных пород с магнитом, качающимся в вертикальной плоскости на

нения магнита наблюдаются при помощи зрительной трубы и шкалы, расположенной на расстоянии 3 м от магнитометра.

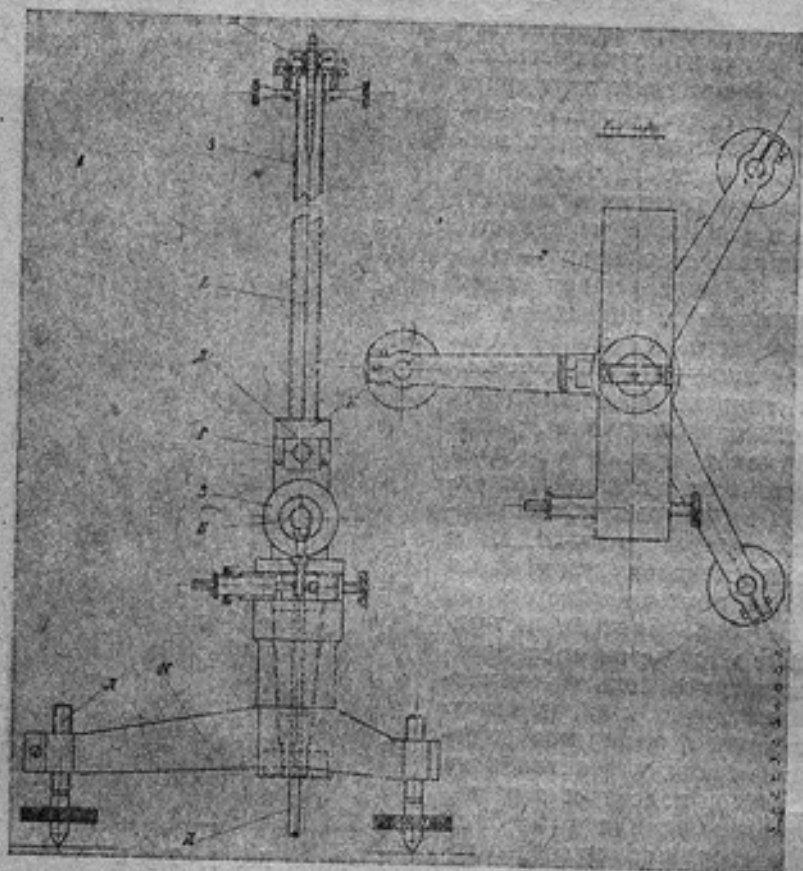


Рис. 2.—Fig. 2.

горизонтальной оси, при чем плоскость приложения поверхности испытуемого материала расположена над магнитом горизонтально, параллельно оси магнита. I. Koenigsberger. Centralblatt f. Min. etc. Jahrg. 1929 Abt. B., Nr. 4 S. 97—107.

Среди других способов определения магнитной восприимчивости нужно упомянуть предложенный К. А. Ферeday'ем метод неоднородного поля, дающий относительные измерения магнитной восприимчивости в образцах весьма малых размеров, массой около 10 мг. Fereday исследовал соли металлов и в качестве образца применял сернокислые соли никеля.

R. A. Fereday. Proceedings of the Physical Society, V. N 42, Part. 3, N. 233, April 15 1903.

В настоящей работе шкала магнитометра градуировалась перед каждой серией наблюдений при помощи насыщенного раствора хлорного железа — FeCl_3 , магнитная восприимчивость которого известна. Приготовленный в лаборатории насыщенный раствор FeCl_3 был налит в стеклянную пробирку в 11,31 мл с плоским дном, вместимостью 23,4 мл с притертой пробкой залитой затем воском.

Трубочка с раствором FeCl_3 , положенная на салазки, перемещалась по шине магнитометра на определенные расстояния от магнита, что вызывало наблюдаемые по шкале при помощи зеркального отчета отклонения, которыми и пользовались при вычислениях магнитной восприимчивости испытуемых смесей порошков и латунных образцов.¹

Напряженность магнитного поля H , создаваемого магнитной массой в какой-либо точке, по закону Кулона² выражается формулой:

$$H = \frac{m}{r^2} \dots \dots \dots (1)$$

где m — магнитная масса, а r — расстояние от магнитной массы до рассматриваемой точки.

Напряженность намагничивания образца I , вызываемая полем H , будет:

$$I = \chi H \quad (2)$$

(χ — магнитная восприимчивость образца) или:

$$I = \chi \frac{m}{r^2} \dots \dots \dots (2a)$$

Обозначая через m_1 магнитную массу, сосредоточенную на одном конце образца, через S — площадь его поперечного сечения, будем иметь:

$$m_1 = \chi S \dots \dots \dots (3)$$

или:

$$m_1 = IS \frac{m}{r^2} \dots \dots \dots (3a)$$

Сила взаимодействия между магнитом и образцом по закону Кулона:

$$f = \frac{mm_1}{r^2} = \frac{\chi Sm^2}{r^4} \dots \dots \dots (4)$$

¹ Градуировка шкалы магнитометра, а также применяемого для измерения магнитной восприимчивости вариометра, может быть произведена катушками Helmholtz'a (l. Koenigsberger. Zeitschr. f. Geophysik, IV. Heft 3, S. 151, 1928).

В то же время:

$$f = C\alpha \dots \dots \dots (5)$$

где C — коэффициент кручения нити магнитометра, α — угол отклонения магнита по шкале, следовательно:

$$\alpha = \frac{\gamma S m^2}{C r^4} \dots \dots \dots (6)$$

Обозначая выражение $\frac{\gamma S m^2}{C}$ как постоянную через A , будем иметь:

$$\alpha = \frac{A}{r^4} \dots \dots \dots (7)$$

и

$$A = \alpha r^4 \dots \dots \dots (8)$$

Вычисляя по приведенной формуле постоянную A для нашей градуировки, произведенной с насыщенным раствором FeCl_3 , получим по данным, приведенным в таблице I и рис. 3, величину $A = 610$ с погрешностью $\pm 4\%$.

Таблица I—Tableau I

r	α	r^4	αr^4
4,4	1,8	374,8	674,6
3,9	2,5	231,3	578,3
3,4	4,9	133,6	654,6
2,9	8,0	70,7	565,6
2,4	17,3	33,2	574,4
		Среднее } Moyenne }	610

Положив в равенстве (6):

$$\frac{m^2}{C r^4} = \alpha$$

получим для раствора FeCl_3 :

$$\alpha_0 = \chi_0 S_0 a$$

и испытуемого образца:

$$\alpha_1 = \chi_1 S_1 a.$$

Разделив первое равенство на второе, будем иметь:

$$\frac{\alpha_0}{\alpha_1} = \frac{\chi_0 S_0}{\chi_1 S_1}$$

откуда:

$$\chi_1 = \chi_0 \frac{S_0}{S_1} \cdot \frac{\alpha_1}{\alpha_0},$$

где χ_1 — восприимчивость испытуемого образца, χ_0 — насыщенного раствора FeCl_2 , S_1 — площадь поперечного сечения образца, S_0 — столба раствора FeCl_2 , α_1 — отклонение магнитометра при образце, α_0 — при хлорном железе.

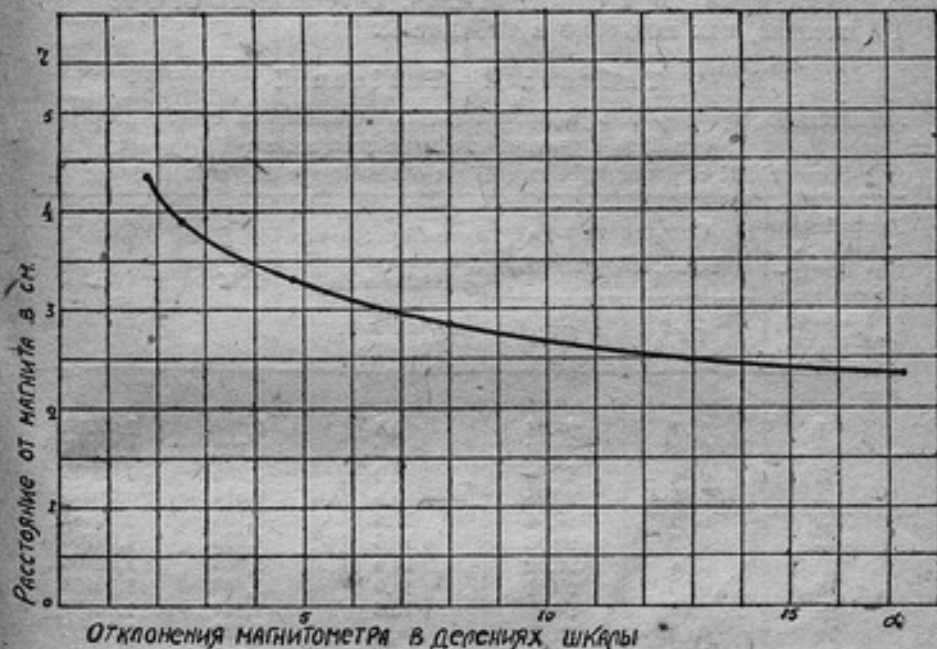


Рис. 3.—Fig. 3.

Принимая для FeCl_2 магнитную восприимчивость $\chi_0 = 90 \cdot 10^{-6}$ будем иметь для испытуемого образца:

$$\chi_1 = 90 \cdot 10^{-6} \frac{S_0}{S_1} \cdot \frac{\alpha_1}{\alpha_0}$$

$$\mu = 1 + 4\pi\chi_1$$

¹ Physikal.-Chem. Tabellen von Landolt-Börnstein. B. 11. S. 1199, 1923.

В начале работы по исследованию слабомагнитных материалов произведены предварительные опыты с механическими смесями, приготовленными из тонких порошков кварца, содержанием:

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
99,85%	0,13%	0,02%

и восстановленного железа, взятого в определенном количестве. В навесках, по 20 г смеси каждая, содержалось от 0,02% до 1% железа, как показано в таблице II.

Таблица II—Tableau II

Магнитные восприимчивость и проницаемость механических смесей порошков кварца с различным содержанием железа

Susceptibilité et perméabilité magnétique des mélanges de quartz et de fer

№ трубки со смесью Nos des tubes contenant des mélanges	Содержание в % Teneur en pour 100		Отклонение магнитометра в делениях шкалы Déviations du magnétomètre en divisions de l'échelle	10%	μ
	Fe	SiO ₂			
1	0,02	99,98	0,3	0,027	1,00003
2	0,03	99,97	1,3	0,123	1,00015
3	0,04	99,96	3,0	0,285	1,00036
4	0,05	99,95	5,4	0,514	1,00065
5	0,06	99,94	11,8	1,123	1,00141
6	0,07	99,93	13,6	1,295	1,00168
7	0,08	99,92	14,0	1,333	1,00168
8	0,09	99,91	14,0	1,333	1,00168
9	0,10	99,90	15,6	1,487	1,00187
10	0,50	99,50	80,0	7,680	1,00958
11	1,00	99,00	—	—	—

* Отклонение магнитометра вышло за пределы шкалы.

* Déviation du magnétomètre en dehors de l'échelle.

Оба компонента смеси были тщательно перемешаны в агатовой ступке в течение 15 минут и затем плотно набиты в стеклянные трубочки, диаметром в 12 мм, длиной в 120 мм, запаянные с одного конца и закрытые, после наполнения их смесью, с другого конца пробкой. Приготовленные так трубки с порошками были испытаны на магнитные свойства путем приближения их по шпине на вышеописанных подставках на расстояние 2,4 см от магнита. Отчет отклонения магнита брался по шкале после полной остановки последнего.

Работа производилась в ночное время от 1 до 5 часов, в виду необходимости хотя бы отчасти избежать воздействия посторонних магнитных полей, влияющих на показания прибора и воз-

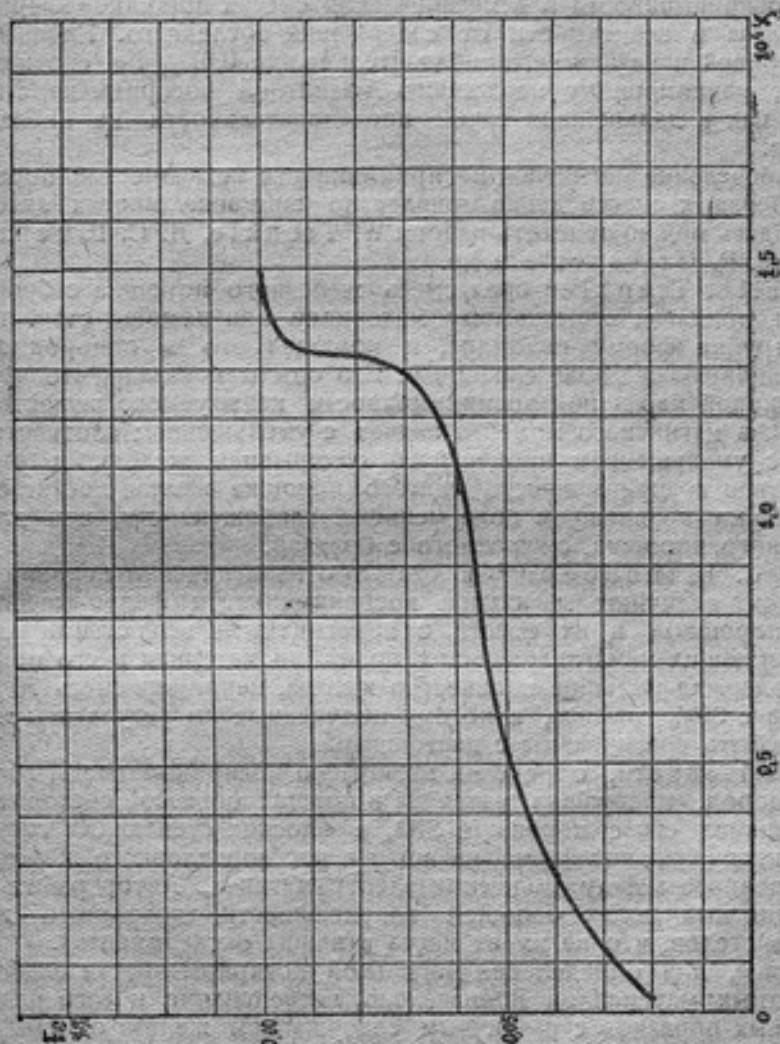


Рис. 4.—Fig. 4.

никающих в окружающей среде, особенно в условиях городской жизни. Результат наблюдений приведен в таблице II, из которой видно, что приближение трубки с порошком, содержащим железа 0,02% и 0,03%, вызывает незначительное отклонение магнита;

присутствие же в смеси 0,05% железа дает уже заметное отклонение.

На рис. 4 приведена кривая, выражающая изменение магнитной восприимчивости χ в механических смесях порошков кварца и железа в зависимости от содержания последнего. Плавный ход кривой в начале ее, приблизительно до 0,07% Fe, соответствует равномерному нарастанию магнитной восприимчивости, тогда как в дальнейшем такой последовательности не наблюдается.

Определение магнитной восприимчивости механических порошкообразных смесей давно привлекало внимание многих авторов. Здесь можно отметить работы W. Trenkle, Д. С. Штейнберга, R. Griesser'a и др.

Walter Trenkle¹ брал смесь железного порошка с бронзовым, придавая испытуемому материалу при помощи стеклянной трубки форму цилиндра, и помещал его в однородное намагничивающее поле соленоида. Его опыты показали, что при одинаковой магнитной восприимчивости испытуемого вещества величина магнитного момента падает с уменьшением плотности, т. е. с уменьшением процентного содержания железа, и что магнитная восприимчивость чистого порошка железа достигает максимума во внешнем поле меньшей напряженности, чем для железного порошка, смешанного с бронзой.

Д. С. Штейнберг² в статье о намагничении порошков приводит величины магнитной восприимчивости ферро-магнитных порошков и их смесей с немагнитными веществами при возрастающих намагничивающих полях, но материал в его опытах содержал большое количество железа, например смесь 70% железа с 30% графита, а потому полученные им результаты не могут быть сравниваемы с настоящими.

R. Griesser³, определяя магнитную восприимчивость горных пород, превращал материал в порошкообразное состояние и смешивал его с порошком SiO_2 в плоских стеклянных сосудах, погружая последние на нити в раствор хлорного железа, помещенного между полюсами электромагнита. Автор работал в магнитных полях большой напряженности, доходящей до 2500 эрстедов, что не имеет места в наших экспериментах.

Далее, для определения магнитной восприимчивости слабомагнитных материалов произведено исследование целого ряда латунных образцов с различным содержанием железа от 0,02%

¹ W. Trenkle. Ann. d. Phys. u. Chem. IV. 1906.

² Д. С. Штейнберг. Журн. Русс. Физ.-Хим. Общ. XLVII, в. 8, стр. 497—515, 1915.

³ R. Griesser. Inauguraldiss, Freiburg i. Br., 1922.

до 0,55‰ и магнитные свойства их определялись вышеуказанным методом. По просьбе магнитной лаборатории металлургического отделением испытательной станции завода „Красный Выборжец“ были изготовлены сплавы меди, цинка и железа, вводимого в определенном количестве. Процентное соотношение компонентов этих сплавов в отлитых болванках приведено в таблице III согласно данным анализа по шихте.

Таблица III—Tableau III

№№ болванки Nos des lingots	Содержание в ‰ — Teneur en pour 100		
	Cu	Zn	Fe
1	60	39,93	0,07
2	62	37,93	0,07
3	60	39,90	0,10
4	62	37,90	0,10
5	60	39,75	0,25
6	62	37,75	0,25
7	60	39,50	0,50
8	62	37,50	0,50
9	67,3	—	0,15

Плавка производилась в нефтяном горне с форсункой высокого давления (6 тп³) на нейтральном пламени в графитовом тигле с отливкой в чугунную изложницу. В расплавленную электролитическую медь вводилась железная стружка; после растворения стружки вводился цинк и при дальнейшем нагревании металл перемешивался. Прокатка производилась в горячем состоянии 700°—750° с 28 мм на 11 мм, после чего полосы отжигались в муфельной печи при температуре 650°—700°, травились в 8—10% водном растворе H₂SO₄, шабровались вручную и затем прокатывались в холодном состоянии с 11 мм на 9 мм в 4 прохода.

Из полученных полос мастерскими ВМС было изготовлено по указанию магнитной лаборатории 6 партий образцов прямоугольного сечения по 4 образца в каждой размером 8×20×150 мм, 2 партии по 3 образца размером 8×8×86 мм и одна партия в 4 образца 2×20×150 мм.

Чтобы удалить железную пыль или железные опилки, могущие остаться на поверхности латуни после механической обработки, образцы перед магнитными измерениями протравливались в 20% HNO₃.

Для определения магнитной восприимчивости изготовленных сплавов все 34 образца были испытаны на магнитометре при

разных расстояниях от полюса магнита. В виду возможности некоторого изменения процентных соотношений Си и Fe в самом процессе плавки, с двух—трех образцов каждой партии была взята стружка для вторичного анализа. По снятии стружки образцы вновь испытывались. Результаты наблюдений для

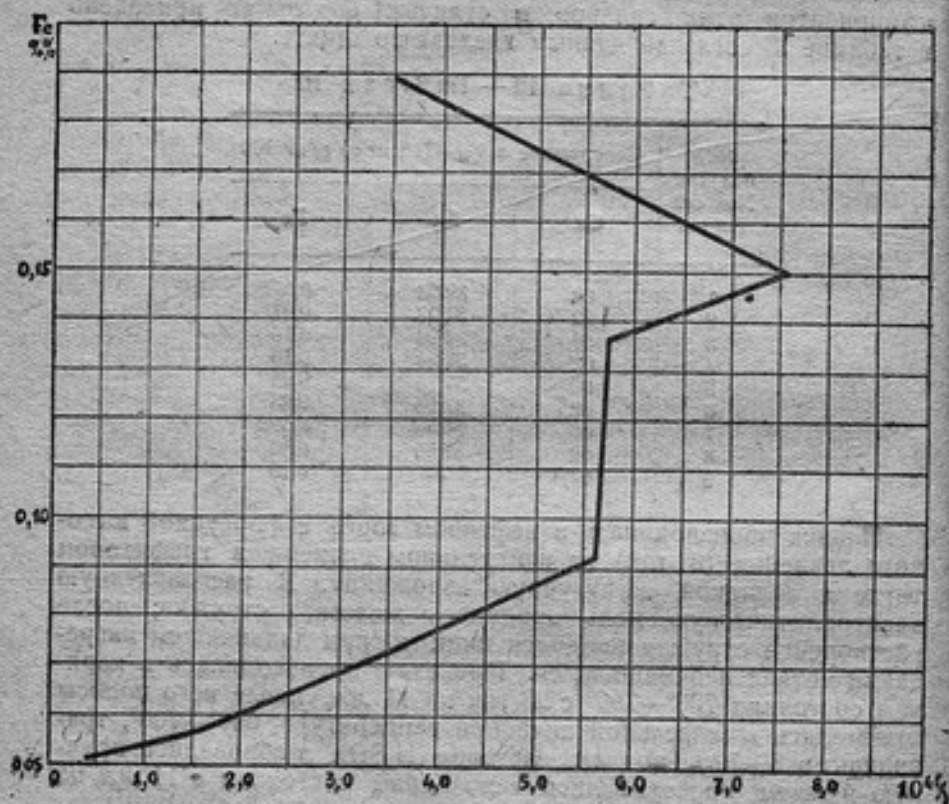


Рис. 5.—Fig. 5.

каждого образца в отдельности, с указанием процентного содержания в нем железа по данным последнего анализа приведены в таблице IV, из которой видно, что величины магнитной восприимчивости отдельных образцов не вполне соответствуют изменениям в количестве имеющегося в них железа, что в значительной степени может быть объяснено неравномерностью распределения железа в сплавах, о чем будем говорить ниже.

Если сопоставить взятые для каждой партии по всем ее образцам средние значения, как для содержания железа и меди,

так и для магнитных величин, полученных из всех произведенных наблюдений, то будем иметь несколько другую картину, представленную на рис. 5 и в таблице V.

Таблица IV—Tableau IV

Магнитные восприимчивость и проницаемость латуни с различным %/о содержанием Fe и Cu

Susceptibilité et perméabilité magnétique du laiton à la teneur différente en Fe et Cu en pour 100

№№ по порядку Nos d'ordre	№ партии Nos des parties	№ обр. Nos des échantillons	Содержание в % Teneur en pour 100		10 ⁴ χ	μ
			Fe	Cu		
1	VII ₀	1	0,06	61,95	0,22	1,0002
2		2	0,047	62,09	0,51	1,0006
3		3	0,052	62,00	0,32	1,0004
4	IX ₄	4	0,048	61,98	0,54	1,0006
5		1	0,057	62,15	1,62	1,0020
6		2	0,057	62,15	1,77	1,0022
7		3	0,057	62,15	1,47	1,0018
8	VIII ₂	4	0,057	62,15	1,50	1,0019
9		1	0,075	60,02	3,80	1,0047
10		2	0,071	60,01	3,68	1,0046
11	VI ₁	3	0,073	60,01	*	—
12		4	0,074	60,01	3,05	1,0038
13		1	0,094	61,18	9,65	1,0121
14		2	0,099	61,25	6,66	1,0083
15	IV ₃	3	0,085	61,24	3,47	1,0043
16		4	0,093	61,22	2,97	1,0037
17		1	0,140	62,09	5,58	1,0070
18	V	2	0,137	62,04	5,94	1,0074
19		3	0,137	62,06	5,47	1,0069
20		4	0,135	62,05	5,99	1,0075
21		1	0,15	67,30	9,00	1,0113
22	III _{2a}	2	0,15	67,30	5,90	1,0074
23		3	0,15	67,30	7,36	1,0092
24		4	0,15	67,30	8,00	1,0100
25		1	0,19	60,50	3,9	1,0049
26	I ₆	2	0,19	67,50	3,4	1,0042
27		3	0,19	60,50	3,16	1,0039
28		1	0,389	62,11	68,00	1,0856
29	II _{1a}	2	0,389	62,11	78,67	1,0991
30		3	0,389	62,11	*	—
31		4	0,389	62,11	97,87	1,1233
32		1	0,55	60,23	*	—
33		2	0,55	60,23	57,80	1,0728
34		3	0,55	60,23	25,00	1,0315

* Магнитная восприимчивость не определена, так как отклонение магнитного метра вышло за пределы шкалы.

* Susceptibilité non déterminée, la déviation du magnétomètre en dehors de l'échelle.

Таблица V—Tableau V

Среднее значение магнитной восприимчивости для каждой партии образцов сплавов Cu, Zn и Fe
 Valeurs moyennes de la susceptibilité magnétique des parties différentes des échantillons des allages de Cu, Zn et Fe

№№ по порядку Nos d'ordre	№ партии Nos des parties	Содержание в % Teneur en pour 100		10%	μ
		Fe	Cu		
1	VII ₅	0,051	62,10	0,39	1,0005
2	IX ₄	0,057	62,15	1,59	1,0020
3	VIII ₃	0,073	60,01	3,51	1,0044
4	VI ₁	0,093	61,22	5,69	1,0071
5	IV ₃	0,137	62,06	5,75	1,0072
6	V ₂	0,150	66,88	7,56	1,0095
7	III _{2a}	0,190	60,50	3,48	1,0013
8	I ₆	0,389	62,11	81,51	1,1027
9	II _{1a}	0,550	60,23	41,40	1,0521

Границы погрешностей в величине магнитной восприимчивости, определенной вышеописанным методом, по результатам наблюдений, приведенным в таблицах IV и V, лежат в пределах до $\pm 20\%$.

На основании таблицы V можно отметить, что в образцах с количеством железа в среднем от 0,05% до 0,15% наблюдается некоторая последовательность в нарастании магнитных величин с увеличением процентного содержания в них железа, хотя и нельзя найти пропорциональной зависимости. При дальнейшем увеличении количества железа такая правильность соотношений пропадает.

В партии III_{2a} с содержанием 0,19% Fe магнитная восприимчивость $\chi = 3,48 \times 10^{-4}$ гораздо ниже, чем в партиях VI₁, IV₃ и V с меньшим содержанием железа.

Этот факт нельзя приписать ошибке наблюдений или какой-либо случайности, так как в предыдущей таблице все образцы этой партии показали почти одинаковую величину восприимчивости.

Партия I₆ с меньшим количеством железа, чем партия II_{1a}, также обладает восприимчивостью почти в два раза большей, чем последняя.

Из кривой рис. 5 хотя и видно, что величина χ нарастает с увеличением количества железа до 0,15%, но пологая часть

кривой соответствует только содержанию железа от 0,05% до 0,1%. Далее ход кривой теряет правильность и несколько напоминает кривую смесей порошков (рис. 4), но в более растянутом виде.

Кроме образцов, полученных из специально приготовленных для настоящей работы сплавов, нами исследовался еще ряд образцов (10 шт.) с меньшим количеством железа, чем в вышеприведенных партиях латуни, а именно с содержанием 0,02%, 0,03% и 0,04% Fe. Эти образцы были вырезаны из латунных труб, присылаемых в разное время в эталонную магнитную лабораторию для испытания на их магнитные свойства. Оказалось, что образцы с таким количеством железа никакого заметного влияния на магнитометр не обнаружили¹.

Имея в виду возможность влияния на отклонения магнитометра неравномерности распределения железа в сплавах мы произвели также опыты по определению магнитной восприимчивости на обоих концах ряда образцов.

Таблица VI—Tableau VI

№ партии Nos des parties	№ образца Nos des échantillons	Отклонение магнитометра Déviations du magnétomètre		10%		μ	
		По лев. концу Bout gauche	По прав. концу Bout droit	По лев. концу Bout gauche	По прав. концу Bout droit	По лев. концу Bout gauche	По прав. концу Bout droit
III _{2a}	1	22,0	23,0	3,3	3,5	1,0041	1,0044
	2	24,6	24,0	3,7	3,6	1,0046	1,0045
VI ₁	3	28,5	24,4	4,3	3,7	1,0054	0,0046
	1	80,0	38,6	10,1	4,9	1,0127	1,0062
	2	69,0	32,7	8,4	4,0	1,0105	1,0050
IX ₄	3	31,2	31,8	3,8	3,9	1,0048	1,0049
	4	19,8	26,0	2,4	3,2	1,0030	1,0040
	1	20,4	28,7	1,3	1,8	1,0016	1,0023
	2	21,8	20,4	1,4	1,3	1,0018	1,0016
	3	20,7	23,4	1,3	1,5	1,0016	1,0019
	4	22,4	20,0	1,4	1,3	1,0018	1,0016

Результаты, приведенные в таблице VI, указывают, что некоторые образцы дали почти полное совпадение в магнитных величинах, тогда как у других, например в партии VI₁, эта разница доходит до 52%.

¹ Трубы, из которых вырезались образцы, были раньше испытаны в магнитной лаборатории, и материал их был найден немагнитным.

Для металлографического исследования по ходу работы с образца № 2 партии VI₁ были отрезаны для изготовления шлифов куски по 3 см с каждой стороны, а оставшаяся часть образца опять измерена на магнитометре с обоих концов, после чего укороченный образец еще был разрезан на две части и в каждом куске вновь определена магнитная восприимчивость по обоим концам (таблица VII).

Таблица VII—Tableau VII

№ партии Nos des parties	№ образца Nos des échantillons	Отклонение магнитометра в делениях шкалы Déviations du magnétomètre en divisions de l'échelle		10%		μ	
		По лев. концу Bout gauche	По прав. концу Bout droit	По лев. концу Bout gauche	По прав. концу Bout droit	По лев. концу Bout gauche	По прав. концу Bout droit
VI ₁	2	57,6	24,0	11,12	4,63	1,0140	1,0058
VI ₁	2а	57,3	47,1	11,06	9,09	1,0139	1,0114
VI ₁	2в	13,0	21,0	2,50	4,05	1,0031	1,0051

Получив возможность измерить таким образом на магнитометре образец по всей его длине, мы нашли некоторую разницу в величине магнитной восприимчивости на концах до и после отреза кусков на шлифы в 17% и 27%, а также определили неодинаковость магнитной восприимчивости по средней линии разреза.

Выше указывалось, что с некоторых образцов для химического анализа была взята стружка по всей их длине с двух сторон. Последующие измерения на магнитные свойства дали тоже некоторую разницу. Из 14 образцов, с которых бралась стружка, у восьми магнитная восприимчивость увеличилась, а у шести уменьшилась.

Все только что приведенные результаты наблюдений говорят о правильности предположения о неравномерном распределении железа при изготовлении сплавов. На это явление есть указание в работах и других авторов.

L. H. Marshall и R. L. Sanford¹ говорят, что исследуемые ими образцы красной меди с различным содержанием железа были вполне одинаковы в отношении магнитной восприимчиво-

¹ L. H. Marshall и R. L. Sanford. Technologic Papers of the Bureau of Standards N. 221, Sept. 22, p. 1—14, 1922.

сти с обоих концов, но что после отжига ими была найдена у одного образца на концах разница в 15%. Авторы видят в увеличении скорости охлаждения некоторых частей сплава препятствие к правильному распределению железа, что может отражаться на магнитных свойствах сплава.

К. Overbeck¹ указывает, что повторные анализы одной и той же отливки сплава меди и железа дали разные результаты, из чего он делает заключение, что железо было распределено неравномерно. Он также нашел, что сплав с содержанием железа 0,055% был парамагнитен, тогда как другие сплавы меди с тем же содержанием железа были частью диамагнитны, частью парамагнитны.

И. А. Одинг² говорит, что в зонах близ усадочной раковины сильно сказывается явление сегрегации, представляющее собой неоднородное расположение составных элементов сплава в различных точках слитка.

H. I. Seemann и E. Vogt,³ определяя магнитную восприимчивость сплавов медь-золото, находили также различные величины χ на концах исследуемых образцов.

С целью понижения магнитной восприимчивости в сплавах Cu, Zn, Fe и для определения влияния различных способов тепловой обработки на степень намагничения имевшихся в нашем распоряжении образцов, к большей части из них была применена дополнительная термическая обработка, проведенная в электрических печах магнитной лаборатории ВИМС. 16 образцов были подвергнуты семичасовому отжигу при температуре 850°, после чего медленно охлаждены вместе с печью и вновь измерены на магнитометре.

Говорить о какой-либо правильности в изменениях величины магнитной восприимчивости в данном случае трудно, но все же нужно отметить, что образцы из партий с содержанием железа до 0,15% почти все несколько понизили свою восприимчивость после отжига. Исключение составляют два образца партии VII₅, содержащей меньше железа, чем другие партии; их восприимчивость увеличилась почти на 85%. В партиях с количеством железа, превышающим 0,15%, наблюдается большее изменение в величинах магнитной восприимчивости в ту и другую сторону от первоначального значения, полученного до отжига (таблица VIII).

В предположении, что семичасовой срок отжига для некоторых образцов недостаточен или медленный способ охлаждения образцов вместе с печью не благоприятен, часть из них была

¹ Kurt Overbeck. Ann. d. Phys. B. 46, S. 677 — 697, 1915.

² И. А. Одинг. Сплавы. ст. 14, Гос. научн. тех. изд. Москва-Ленинград 1932 г.

³ H. I. Seemann и E. Vogt. Ann. d. Phys., B. 2, H. 5, S. 976 — 990, 1909.

Таблица VIII—Tableau VIII

Магнитная восприимчивость латунных образцов с различным содержанием железа при разных способах тепловой обработки

Susceptibilité magnétique du laiton à la teneur différente en fer, subi un traitement thermique différent

№ партии Nos des parties	№ образца Nos des échantillons	Содержание в % Teneur en pour 100		10%				
		Fe	Cu	До тепловой обработки Avant le traitement ther- mique	После 7 час. отжига при 850° Après le recuit pendant 7 heures à 850°	После вторичного 7 час. отжига при 850° и закалки Après le recuit réité- ré pendant 7 heures à 850° et la trempe		После 30 минут на- грева при 850° и закалки в воде—Après l'échauffement pen- dant 30 minutes à 850° et la trempe dans l'eau
						В воде Dans l'eau	На воз- духе Dans l'air	
VII ₂	2	0,047	62,09	0,51	—	—	—	0
	3	0,052	62,00	0,32	3,02	—	—	0
	4	0,048	61,98	0,54	3,53	0	—	—
IX ₄	1	0,057	62,15	1,62	1,45	—	—	—
	2	0,057	62,15	1,77	—	—	—	0
	3	0,057	62,15	1,47	1,30	—	—	—
	4	0,057	62,15	1,50	—	—	—	0
VIII ₂	2	0,071	60,01	3,68	4,6	—	—	0,22
	3	0,073	60,01	*	1,26	—	—	0
	4	0,074	60,01	3,05	1,44	—	12,68	—
	1	0,094	61,18	9,66	1,22	—	—	—
VI ₁	2	0,099	61,25	6,66	—	—	—	0
	3	0,085	61,24	3,47	—	—	—	0
	4	0,093	61,22	2,97	2,43	0	—	—
IV ₃	1	0,140	62,09	5,58	—	—	—	5,27
	2	0,137	62,04	5,94	3,58	6,95	—	—
	4	0,135	62,05	5,99	—	—	—	0,71
	2	0,150	67,30	5,90	3,77	—	0,30	—
III _{2a}	1	0,190	60,50	3,90	—	—	—	0,07
	2	0,190	60,50	3,40	7,89	—	—	—
	3	0,190	60,50	3,16	7,45	—	11,11	—
I ₆	2	0,389	62,11	78,67	—	—	—	2,72
	3	0,389	62,11	*	21,42	12,35	—	—
II _{1a}	1	0,55	60,23	*	16,16	—	25,13	—
	2	0,55	60,23	57,80	20,40	—	—	0,25

* Магнитная восприимчивость не определена, так как отклонение магнитометра вышло за пределы шкалы.

* Susceptibilité magnétique non déterminée, déviation du magnétomètre en dehors de l'échelle.

вторично отожжена и выдержана при той же температуре 850° еще семь часов, после чего образцы были быстро охлаждены; одна половина из них путем закалки в воде и другая на воздухе.

Закалка в воде дала лучшие результаты, чем быстрое охлаждение на воздухе; в первом случае 2 образца с содержанием железа до 0,1% оказались немагнитными, третий понизил восприимчивость на 42% и один (0,137% Fe) несколько повысил ее. Охлаждение на воздухе вызвало увеличение магнитной восприимчивости, за исключением образца № 2 партии V.

Для большего освещения степени влияния закалки на магнитные свойства латуни с железом, нами были закалены в воде при температуре 850° с нагревом в течение 30 минут еще 13 образцов, при чем 9 из них не отжигались в магнитной лаборатории, а 4 образца были ранее подвергнуты семичасовому отжигу. Испытание на магнитометре и определение восприимчивости дало в смысле слабомагнитности материала удовлетворительные результаты, приведенные в той же таблице VIII. Из таблицы видно, что из 9 неотожженных образцов 5 совсем не дали отклонения на магнитометре, три сильно понизили величину магнитной восприимчивости и один остался почти без изменений. Из четырех отожженных — два оказались немагнитными, другие два значительно уменьшили величину восприимчивости.

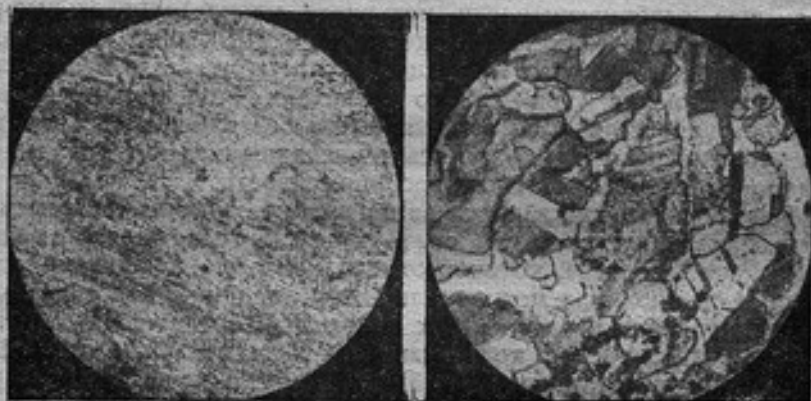
Говоря о влиянии закалки на магнитные свойства исследуемых нами сплавов, нужно и здесь опять выделить те же партии с малым содержанием железа, которые отмечались выше, как имеющие некоторое соотношение между величинами восприимчивости и количеством содержащегося в них железа. Действительно, партии VII₅, IX₄, VIII₂ и VI₁ с количеством железа от 0,05% до 0,1%, давшие пологой кривую (рис. 5) зависимости магнитной восприимчивости от процентного содержания железа, воздействия на магнитометр после закалки не оказали, и их можно считать немагнитными; партии же, содержащие железа от 0,14% и больше, не обнаружившие правильного хода кривой, продолжают все еще оставаться магнитными, хотя и в меньшей степени, чем до закалки.

В настоящей работе нас интересуют главным образом сплавы Cu, Zn с минимальным содержанием железа, так как только они могут быть приемлемы для изготовления измерительных приборов и их деталей, от которых требуется немагнитность.

Приводя результаты наших наблюдений, нужно указать, что L. H. Marshall и R. L. Sanford,¹ работая с содержащими железо сплавами несколько иного состава, чем латунь, исследуемая в настоящих опытах (82,1% — Cu; 2,89% — Sn; 0,07% — Pb и 14,7% — Zn), и определяя магнитную восприимчивость баллистическим методом, приводят результаты испытания 7 образцов

¹ L. H. Marshall and R. L. Sanford. Technologic Papers of the Bureau of Standards, № 221 22, Setp. 22 221, p. 1—14, 1922.

различного состава и находят, что магнитные свойства сплавов не являются точным указанием количества содержащегося в отлитом металле железа. Они в своих опытах наблюдали, что сплавы с меньшим количеством железа обнаруживали большую восприимчивость, чем сплавы, богатые железом, и что сплавы почти одинакового состава проявили различную магнитную восприимчивость. Авторы, применяя для своих образцов несколько иную термическую обработку, чем указана в настоящей работе, получили после получасового отжига при 650° некоторое увеличение магнитной восприимчивости, а после вторичного восьмичасового отжига при 800° одни образцы остались почти без изме-



× 50

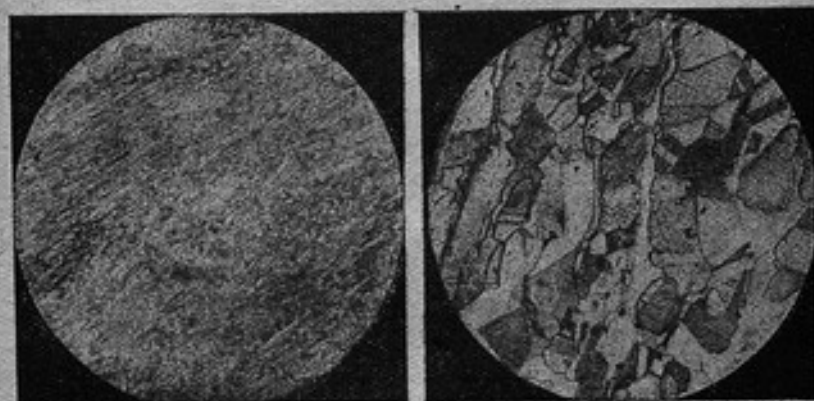
Рис. 6.—Fig. 6.

× 520

нения, другие или повысили, или уменьшили свою восприимчивость; по их заключению тепловая обработка, оказав влияние на магнитные свойства материала, не дает простого соотношения между магнитной восприимчивостью и содержанием железа. Также производилась ими закалка сплавов при 950° , но, к сожалению, авторы не дают указаний на определение магнитной восприимчивости после закалки.

К. Overbeck, на работу которого указывалось, изучая явление метамагнетизма, в слабомагнитных материалах, т. е. явление перехода парамагнетизма в диамагнетизм при увеличении напряженности действующего магнитного поля, работал также со сплавами Cu, Zn, Fe, помещая испытуемый материал в виде стерженька между полюсами электромагнита, создававшего магнитные поля большой напряженности. Он указал, что латунь, содержащая 0,023% железа, проявила некоторый парамагнетизм в полях от

5000 до 10 000 эрстедов, и что при долгом пребывании сплава в магнитном поле этот последний становится более магнитным,



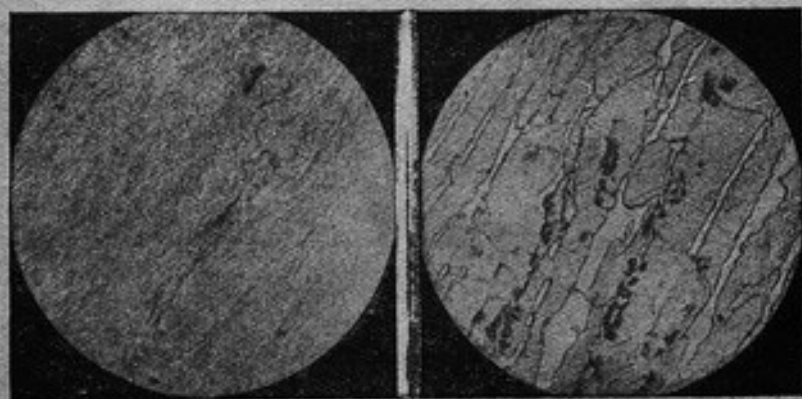
×50

Рис. 7.—Fig. 7.

×520

тогда как закалка при высоких температурах приводила сплав в диамагнитное состояние.

В процессе исследования латуни с железом для микроскопических наблюдений с некоторых образцов были срезаны концы



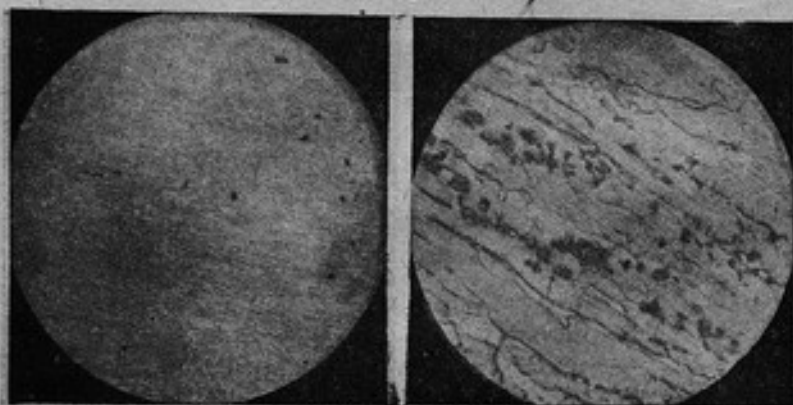
×50

Рис. 8.—Fig. 8.

×520

и изготовлены шлифы, а также выполнены микрофотографии, любезно предоставленные в наше распоряжение и помещенные ниже.

На рис. 6—10 изображены шлифы сплавов до тепловой обработки их в магнитной лаборатории, на остальных рисунках даны



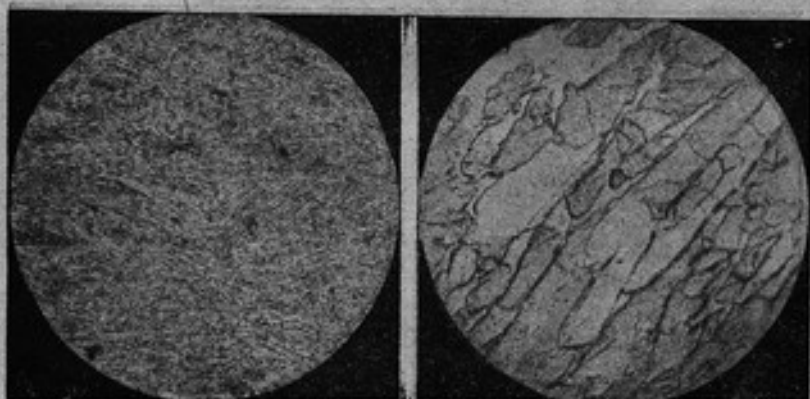
×50

Рис. 9.—Fig. 9.

×520

микрофотографии шлифов с образцов отожженных или закаленных. Все микрофотографии исполнены при двух увеличениях ×50 и ×520. Шлифы травлены раствором $\text{NH}_4\text{OH} + \text{H}_2\text{O}_2$.

На рис. 6—7 даны изображения шлифов, взятых у одного и того же образца № 3 партии VI₁ с разных концов его, выз-



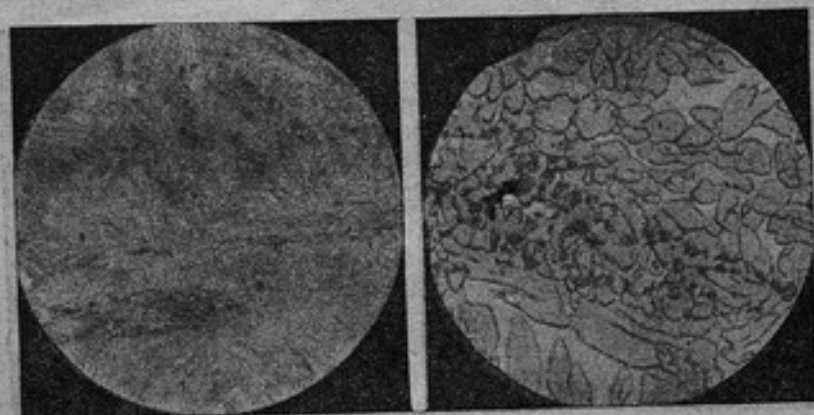
×50

Рис. 10.—Fig. 10.

×520

вавших при измерениях почти равные углы отклонения магнитометра.

На рис. 8—9 приведены микрофотографии шлифов, взятых также с разных концов образца № 2 той же партии, но пока-



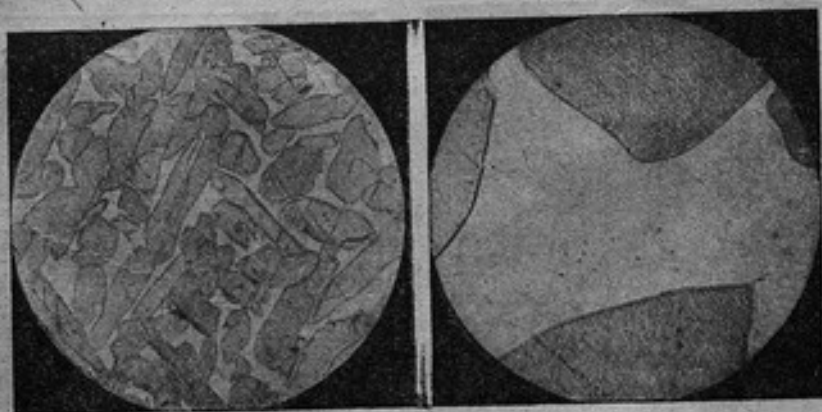
× 50

Рис. 11.—Fig. 11.

× 520

завших при измерениях большую разницу в углах отклонения магнитометра.

На рис. 10 приведено изображение шлифа образца № 3 из партии I₆, показавшего наибольшую величину магнитной восприимчивости.



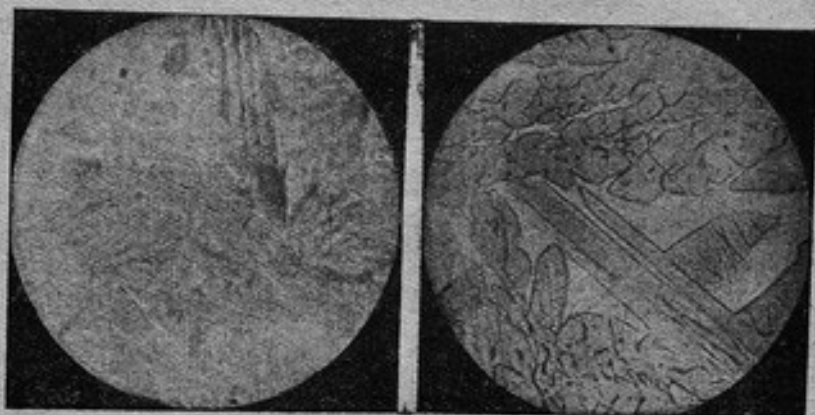
× 50

Рис. 12.—Fig. 12.

× 520

На микрофотографиях этих сплавов при увеличении можно различить две фазы: светло окрашенную β латунь и более

темную α фазу. При малом увеличении в микроструктуре обнаруживается определенная ориентация в расположении составля-



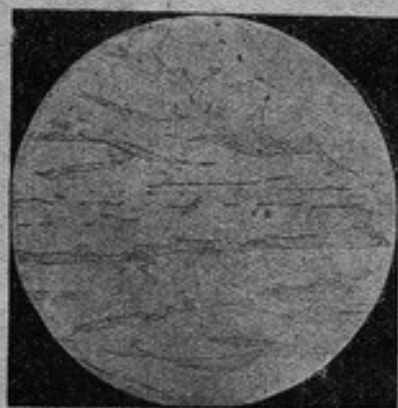
× 50

Рис. 13.—Fig. 13.

× 520

ющих, находящаяся, повидимому, в зависимости от деформации сплава при прокатке.

На рис. 11 дано изображение шлифа от образца № 2 партии VII, без отжига, закаленного в воде при температуре 850°



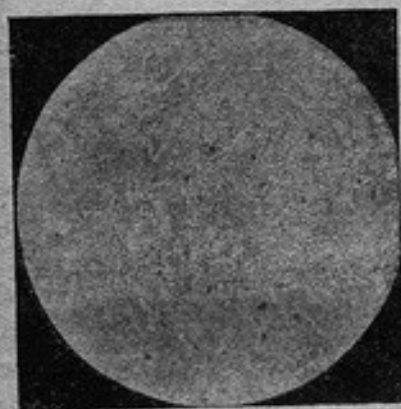
× 50 Рис. 14.—Fig. 14.



Рис. 15.—Fig. 15. × 50

с получасовым нагревом. Здесь необходимо указать, что после закалки этот образец стал немагнитным.

От образца № 4 партии VIII₂, отжигавшегося два раза по 7 часов, изготавливались шлифы после каждого отжига, причем после первого отжига образец медленно охлаждался вместе с печью (рис. 12), а после второго—быстро охлажден на воздухе (рис. 13). При высокой температуре нагрева (850°) в микроструктуре этих сплавов имеется выпадение α фазы из чистой β , причем крупность составляющих находится в зависимости от скорости охлаждения. На некоторых шлифах заметны более темно окрашенные включения, происхождение которых пока опре-



× 50 Рис. 16.—Fig. 16.



Рис. 17.—Fig. 17, × 50

делить не удалось. Связывать их присутствие с величиной магнитной восприимчивости тоже нельзя, так как они видны на шлифах образцов магнитных и немагнитных.

В дополнение к произведенным опытам по отысканию оптимальной тепловой обработки латуни с малым содержанием железа для получения немагнитного материала, шлифы № 11, закаленный в воде, и № 9, не подвергавшийся ранее тепловой обработке, были в течение 8 часов отожжены при 850° и медленно охлаждены в печи, после чего шлиф № 11 стал вновь магнитен, а № 9 уменьшил свою первоначальную восприимчивость (таблица IX). Микроструктура этих шлифов после отжига дана на рис. 14 и 15. Далее, эти шлифы были закалены при 850° в воде с нагревом в течение 30 минут, причем вторичная закалка шлифа № 11 вернула ему вновь немагнитное состояние и шлиф № 9 стал тоже немагнитен (рис. 16 и 17).

Таблица IX—Tableau IX

№№ шлифа Nos des plaquettes polies	10%			
	До тепловой обработки— Avant le traitement thermique	После закалки в воде Après la trempe dans l'eau	После отжига Après le recuit	После закалки в воде Après la trempe dans l'eau
11	0,51	0	1,9	0
9	4,00	—	2,4	0

Выводы. 1. Примененный метод дает возможность определить величину магнитной восприимчивости латуни с различным содержанием железа при наибольшей погрешности $\pm 20\%$.

2. Техника измерений при настоящем методе весьма проста и не требует большого количества времени для определения магнитных свойств испытуемых образцов.

3. Настоящий метод может быть применяем для приемки слабомагнитных материалов, степень магнитности которых должна быть установлена.

4. Образцы латуни с содержанием Fe от 0,02% до 0,04% заметного влияния на магнитометр не обнаруживают.

5. Величина магнитной восприимчивости отдельных образцов латуни с железом не вполне соответствует содержащемуся в них количеству железа.

6. При сопоставлении с процентным содержанием железа средних значений величины магнитной восприимчивости, взятых для каждой партии по всем ее образцам, получается некоторая последовательность в нарастании магнитной восприимчивости с увеличением железа до 0,1%. При дальнейшем увеличении количества железа в сплавах правильности соотношений не наблюдается.

7. Разница, получаемая при определении магнитной восприимчивости по обоим концам некоторых образцов и по всей их длине, говорит за неравномерное распределение железа при изготовлении сплава.

8. Термическая обработка после прокатки в холодном состоянии влияет на величину магнитной восприимчивости сплавов.

9. Отжиг определенного влияния на магнитные свойства латунных образцов не оказывает, хотя в большинстве случаев, особенно до 0,15% Fe, заметно уменьшение величины магнитной восприимчивости.

10. Закалка латунных образцов при 850° в воде с получасовым нагревом оказала благоприятное влияние на латунь с при-

месью до 0,1% железа, приведя материал в немагнитное состояние; при большем количестве железа в сплавах магнитная восприимчивость уменьшилась.

Необходимо указать, что эта работа не преследует высшей точности измерений и не может претендовать на таковую при относительных измерениях. Здесь важно было установить метод испытания, позволяющий быстро определить порядок величины магнитной восприимчивости испытуемого материала.

В дальнейшем, при выработке технических условий, для стандарта на айтмагнитность латуни, необходимо определить путем экспериментальных данных, как влияет на показание приборов материал, из которого они изготовлены, содержащий то или другое количество железа; после этого можно установить максимальную величину магнитной восприимчивости латуни, пригодной для изготовления приборов высокой чувствительности, применяемых в области магнитных измерений.

Пользуюсь случаем выразить благодарность заведующему испытательной станцией инженеру М. И. Макушенко за любезное содействие по предоставлению необходимых для исследования сплавов с химическими анализами и микрофотографиями и за проявленный к нашей работе им и его сотрудниками по лаборатории интерес, являющийся залогом успеха доведения результатов научно-исследовательских работ до применения их в производстве.

LA SUSCEPTIBILITÉ MAGNETIQUE DU LAITON A LA TENEUR DIFFERENTE DE FER, ET LA METHODE D'ESSAIS DES MATIERES FAIBLEMENT MAGNETIQUES

Par N. I. Spiridovitch

(Résumé)

Le Laboratoire des Etalons magnétiques de l'Institut de Métrologie et Standardisation de l'U.R.S.S. a effectué les recherches sur les propriétés magnétiques des échantillons de laiton; le but final de ce travail doit être l'élaboration des conditions techniques pour l'estimation des propriétés magnétiques du laiton et l'établissement des normalisations pour les matières faiblement magnétiques.

Pour exécuter ce travail on avait construit un magnétomètre astatique représenté par la fig. 1 et schématiquement par la fig. 2.

Le magnétomètre en question a un système de deux aimants disposés l'un au-dessus de l'autre et éloignés l'un de l'autre à une distance de 70 cm. Les aimants en acier de cobalt, renfermés dans des amortisseurs massifs, sont orientés à 180° l'un par rapport à l'autre pour diminuer l'action du champ terrestre. Sous l'amortisseur de l'aimant supérieur, perpendiculairement à la direction du méridien magnétique, se trouve une barre en bois sur laquelle glisse un chariot muni d'un index et des supports en forme de fourche pour les échantillons à essayer. On faisait approcher ces derniers de l'un des pôles de l'aimant de telle manière, que la section transversale de l'échantillon était disposée dans un plan vertical perpendiculairement à l'axe de l'aimant. Les déviations de l'aimant ont été observées à l'aide d'une lunette et d'une échelle, disposée à une distance de 3 m du magnétomètre; l'échelle du magnétomètre était graduée à l'aide d'une solution saturée du chlorure de fer FeCl_3 , dont la susceptibilité magnétique est connue.

En prenant pour FeCl_3 la susceptibilité $\chi_0 = 90 \cdot 10^{-6}$, nous aurons pour l'échantillon à essayer:

$$\chi_1 = 90 \cdot 10^{-6} \frac{S_0}{S_1} \cdot \frac{\alpha_1}{\alpha_0}, \quad \mu = 1 + 4\pi\chi_1$$

où χ_1 est la susceptibilité de l'échantillon, S_1 sa section, S_0 section de la colonne de la solution de FeCl_3 , α_1 et α_0 les déviations correspondantes. L'auteur a commencé ses recherches par des essais des mélanges de la poudre fine de quartz et de fer réduit; les pesées des mélanges, de 20 grammes chacune, contenaient de 0,02 à 1 pour cent de fer, comme l'indique le tableau II. Les deux composants du mélange placés dans des petits tubes de verre furent essayés par

rapport de leurs propriétés magnétiques en les rapprochant le long de la barre, sur les supports décrits plus haut, à une distance de 2,4 cm de l'aimant. Les observations étaient faites la nuit pour éviter, au moins en partie, l'influence sur le magnétomètre des champs magnétiques voisins qui peuvent surgir dans les conditions de la vie urbaine.

L'auteur a trouvé que la teneur en fer de 0,02 et 0,03 pour cent provoque une déviation insignifiante de l'aimant; mais la teneur en fer de 0,05 pour cent donne déjà une déviation sensible.

La fig. 4 représente la courbe de changement de la susceptibilité magnétique χ dans les mélanges de quartz et de fer en rapport avec le changement de la teneur en fer.

L'auteur a essayé ensuite 9 parties d'échantillons de laiton à la teneur différente en fer de 0,02 à 0,55 pour cent, dont les propriétés magnétiques furent déterminées par la méthode indiquée plus haut. Les alliages de Cu, Zn et Fe avaient été spécialement préparés pour ces essais (tableau III). Les 34 échantillons furent essayés sur le magnétomètre à différentes distances du pôle de l'aimant. En vue des variations possibles des proportions de Cu et de Fe pendant le procédé même de la fusion on avait pris des alésures des deux ou trois échantillons de chaque partie pour une analyse répétée, après quoi les échantillons ont été essayés de nouveau (tableau IV). Les données du tableau IV démontrent, que les valeurs de la susceptibilité magnétique des échantillons séparés ne correspondent pas complètement à la teneur en fer, ce qui peut être expliqué, en grande partie, par la distribution non uniforme du fer dans les alliages. Au tableau V figurent les valeurs moyennes prises pour chaque partie des échantillons. Comme l'indique ce tableau, pour les échantillons à la teneur en fer de 0,05 à 0,15 pour cent en moyenne, une certaine régularité de l'accroissement des valeurs magnétiques avec l'augmentation de la teneur en fer peut être observée. Avec l'augmentation ultérieure de la teneur cette régularité disparaît.

L'auteur a essayé en outre une partie d'échantillons (10 pièces) à la teneur en fer moins grande, notamment de 0,02, 0,03 et 0,04 pour cent; les essais ont démontré que ces échantillons n'influencent pas le magnétomètre.

On a fait aussi la détermination de la susceptibilité magnétique de deux bouts d'une partie des échantillons.

Comme le montre le tableau VI, pour quelques échantillons les valeurs magnétiques de deux bouts sont presque identiques, tandis que pour les autres, par exemple pour la partie VI, la différence atteint 52 pour cent, ce qui confirme la justesse de la supposition de l'auteur concernant la distribution non uniforme du fer dans les alliages.

Pour réduire la susceptibilité magnétique des alliages de Cu, Zn et Fe et pour déterminer l'influence des différents métaux du laiton

ment thermique sur l'aimantation des échantillons, on avait employé un traitement supplémentaire. Seize échantillons furent recuits pendant sept heures à une température de 850° , après quoi ils furent lentement refroidis dans le four.

Les échantillons à la teneur en fer ne dépassant pas 0,15 pour cent, ont réduit presque tous leur susceptibilité après le recuit. Pour les échantillons à la teneur en fer dépassant 0,15 pour cent on observe des variations plus grandes des valeurs de la susceptibilité (tableau VIII).

L'auteur avait recuit une partie des échantillons une seconde fois à la même température de 850° pendant deux fois sept heures, après quoi ils furent rapidement refroidis: une moitié — par la trempe dans l'eau et l'autre à l'air. La trempe dans l'eau a donné les meilleurs résultats que le refroidissement brusque à l'air (tableau VIII).

On avait trempé dans l'eau encore 13 échantillons après l'échauffement pendant 30 minutes à 850° . La détermination de leur susceptibilité après la trempe a donné des résultats satisfaisants: 7 échantillons n'ont provoqué aucune déviation du magnétomètre, 5 échantillons ont réduit fortement leur susceptibilité et un échantillon presque n'a pas changé ses propriétés.

Les fig 6—10 représentent des microphotographies des surfaces polies des alliages avant leur traitement thermique au Laboratoire des Etalons magnétiques, les figures suivantes celles des échantillons recuits ou trempés; grossissement $\times 50$ et $\times 520$. Les surfaces polies ont été attaquées à la solution de $\text{NH}_4\text{OH} + \text{H}_2\text{O}_2$.

Conclusions. 1. La méthode employée permet de déterminer la susceptibilité magnétique du laiton à teneur différente en fer avec l'erreur maximum ± 20 pour cent.

2. La technique des mesures est très simple et sans grande perte de temps.

3. La méthode peut être recommandée pour essais de réception des matières faiblement magnétiques.

4. Les échantillons de laiton à la teneur en fer de 0,02 à 0,04 pour cent n'influencent pas sensiblement le magnétomètre.

5. Le traitement thermique après l'étirage en état froid influence la susceptibilité magnétique des alliages de Cu, Zn, Fe.

6. Le recuit ne produit pas une influence définie sur les propriétés magnétique des échantillons de laiton, mais pour les alliages à la teneur en fer ne dépassant pas 0,15 pour cent on peut remarquer un abaissement de la susceptibilité magnétique.

7. La trempe dans l'eau après l'échauffement pendant 30 minutes à 850° produit une influence favorable sur les alliages à la teneur en fer jusqu'à 0,1 pour cent en les réduisant à l'état non magnétique; la susceptibilité magnétique des alliages à la teneur en fer plus grande s'abaisse sensiblement.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФИЦИЕНТОВ РАЗМАГНИЧИВАНИЯ ПРИ ПОМОЩИ ИДЕАЛЬНОЙ КРИВОЙ НАМАГНИЧЕНИЯ

С. П. Будрин

В связи с развитием электротехники слабого тока возникла необходимость в выработке методики магнитных измерений в слабых магнитных полях, могущей найти применение в заводских лабораториях.

Известный метод магнитных измерений на замкнутых кольцах с равномерно навитой намагничивающей обмоткой не мог получить широкого распространения ввиду необходимости обматывать каждое испытуемое кольцо самостоятельной обмоткой, что, очевидно, не только отнимает много времени, но и требует лишней затраты обмоточной проволоки. Кроме того, всегда возможная неоднородность обмотки вносит некоторую неопределенность в вычисленную по ее параметрам и силе тока величину напряженности намагничивающего поля, что естественно затрудняет правильную оценку результатов измерений. Измерения в пермеаметрах (приборах с искусственно созданной замкнутой магнитной цепью) в слабых магнитных полях также не дают надежных результатов, вследствие искажающего влияния на измерения магнитной системы (ярма) прибора.

Поэтому магнитные измерения в слабых магнитных полях желательней производить на образцах с разомкнутой магнитной цепью.

Как показывает экспериментальное исследование, вид кривой намагничивания $B = f(H)$, где B — магнитная индукция, а H — напряженность намагничивающего поля, зависит в этом случае не только от магнитных свойств материала исследуемого образца, но также и от геометрической формы и относительных размеров последнего; поэтому для определения кривой намагничивания, а также для вычисления различных коэффициентов, характеризующих магнитные свойства материала, необходимо знать так называемый коэффициент размагничивания N , так как при его помощи кривая намагничивания материала определится сравнительно просто из уравнения:¹

$$H_i = H - NJ = H - N \frac{B - H_i}{4\pi} \dots \dots \dots (1)$$

где J — напряженность намагничивания.

¹ Л. В. Залуцкий. Магнитные измерения, вып. 4, 1918 г.

Кривая $B = f(H)$ обычно называется „истинной“ или „исправленной“ кривой намагничения, кривая же $B = f(H)$ — „неисправленной“ кривой намагничения, а величины H_1 и H соответственно „истинным“ или „внутренним“ (H_1) и „внешним“ (H) магнитным полем.

Коэффициент размагничивания N зависит от геометрической формы, относительных размеров и, за исключением эллипсоида вращения и шара, от степени намагничения исследуемого образца

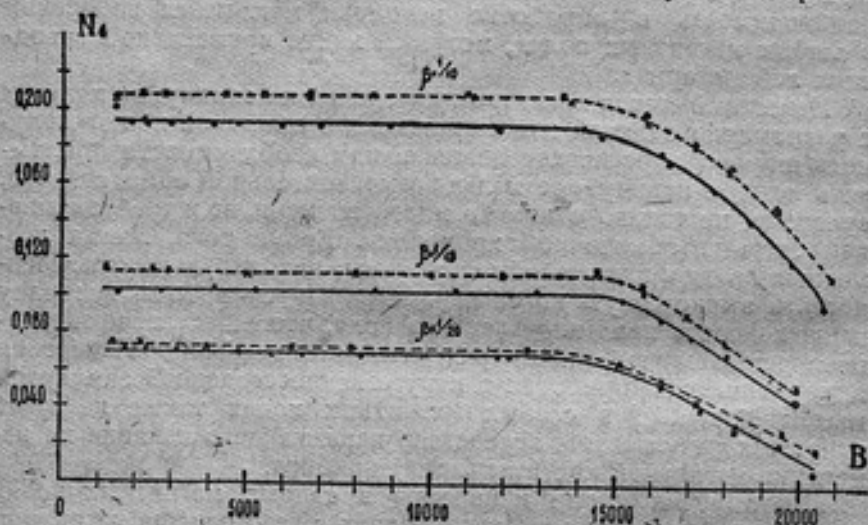


Рис. 1.—Fig. 1.

В качестве примера на рис. 1 приведены кривые $N = f(B)$ цилиндрических образцов из мягкого железа с плоскими и закругленными концами, исследованных автором в эталонной магнитной лаборатории ВИМС, где пунктирными линиями показаны образцы с закругленными концами, а сплошными линиями — образцы с плоскими концами.¹

Диаметр этих образцов равен 1 см, длина 10, 15 и 20 см, так что отношения β диаметр к длине равны 1/10, 1/15 и 1/20. Разные точки на одной и той же кривой относятся к двум одинаковым по размерам образцам из одного и того же материала.

¹ С. П. Будрии. Определение баллистическим методом коэффициентов размагничивания цилиндрических стержней с плоскими и закругленными концами. — Временник Главной Палаты мер и весов, вып. 4 (16), 1930 г.

Определить коэффициент размагничивания можно или по данным экспериментальных магнитных измерений, или расчетом по геометрическим размерам исследуемых образцов. Последнее возможно только для образцов, имеющих форму эллипсоида вращения или шара.

Экспериментальные данные магнитных измерений для определения коэффициента размагничивания N какого-либо образца можно получить или на основании вспомогательных измерений с эллипсоидом вращения, сделанным из того же материала, как и исследуемый образец,¹ или измерением напряженности магнитного поля вблизи поверхности образца и магнитной индукции в нем,² или же, наконец, при помощи идеальной кривой намагничивания исследуемого образца³.

В настоящей работе приведены результаты определения коэффициентов размагничивания по последнему методу.

Идеальная кривая намагничивания получается в результате намагничивания образца в постоянном магнитном поле, на которое накладывается переменное магнитное поле, параллельное первому, с плавно убывающей до нуля напряженностью. В результате такого намагничивания магнитная индукция в образце будет больше, чем при намагничении одним постоянным магнитным полем⁴.

Аналогичное явление можно наблюдать и при механических встряхиваниях образца, намагничиваемого в постоянном магнитном поле,⁵ а также в железной проволоке, по которой проходит переменный ток, протянутой в постоянном магнитном поле параллельно направлению последнего⁶.

Как показали исследования Сроопера⁷ и Яновского,⁸ намагничение образца в постоянном магнитном поле, на которое накладывается параллельно ему переменное магнитное поле, плавно убывающее до 0, подчиняется обычным законам намагничивания ферро-магнитных тел, и повышение магнитной индукции является логическим следствием, вытекающим из специфических условий намагничивания.

Кривая $B = f(H)$, где H — напряженность постоянного магнитного поля, аналогично предыдущему, определяет „неисправлен-

¹ С. Benedicks. Ann. d. Phys., VI, 1901. С. П. Будрин. Временник Главной Палаты мер и весов, вып. 4 (16), 1930. г.

² Dussler. Ann. der Phys. 86, Heft 8 (№ 9) s. 66, 1928.

³ Würschmidt. Z. f. Phys. 19, 1923. Н. Lange. Z. f. Tech. Phys. № 7, 267—268, 1930.

⁴ W. Steinhaus und. E. Gumlisch. Verh. d. Deut. Phys. Ges. т. 15, 1915 г.

⁵ Ewing. „Magnetic Induction in iron“, London 1900 г. (3 изд.)

⁶ G. Gerosa и W. Funst. Rendic. del. R. Inst. Lambardo т. 24, 1891 г.

⁷ Spooner. Phys. Rev. 25, p. 527, 1925 г.

⁸ В. М. Яновский. Временник Главной Палаты мер и весов, вып. 3 (15) 1929 г.

ную* идеальную кривую намагничения, а кривая $B=f(H)$ — „исправленную* или „истинную*.

Экспериментальные исследования в слабых магнитных полях показали,¹ что исправленная идеальная кривая намагничения, в начале до $B \approx 5000$ гауссов практически совпадает с осью ординат. Следовательно, для этого участка кривой можно принять:

$$H_i = H - N \frac{B - H_i}{4\pi} = 0,$$

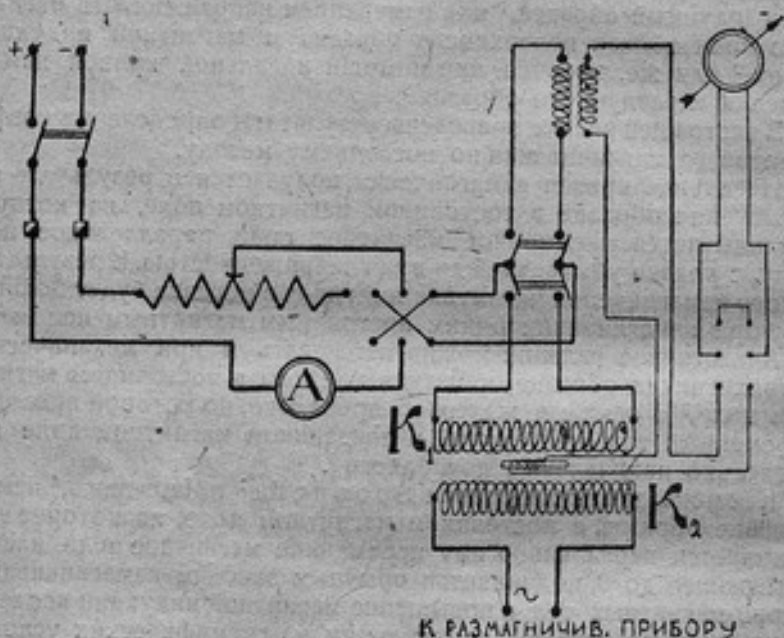


Рис. 2.—Fig. 2.

откуда:

$$N = 4\pi \cdot \frac{H}{B} \dots \dots \dots (2)$$

Таким образом, определение коэффициента размагничивания N может быть выполнено по двум соответствующим друг другу величинам H и B , если только значение магнитной индукции B лежит на совпадающем с осью ординат участке исправленной идеальной кривой намагничения.

¹ Lange. Zeit. f. tech. Phys. № 7, S. 260, 1930 г.

В эталонной магнитной лаборатории ВИС намагничение образцов производилось в магнитных полях постоянного и переменного электрических токов, проходивших по обмоткам K_1 и K_2 (рис. 2) цилиндрической катушки длиной в 100 см.

Обмотка K_2 , для переменного тока, присоединялась к зажимам вторичной катушки прибора для размагничивания,¹ пост-

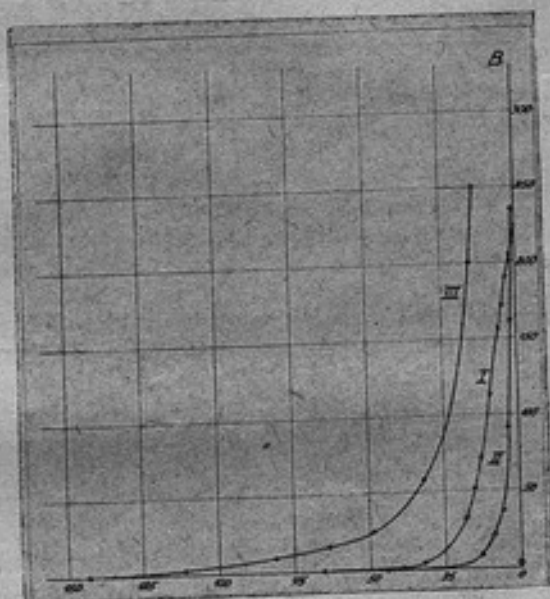


Рис. 3.—Fig. 3.

роенного по принципу электромагнитной связи двух обмоток, что давало возможность плавно уменьшать до нуля силу электрического тока.

Напряженность постоянного магнитного поля H вычислялась по силе тока I_a и постоянной A обмотки K_1 :

$$H = AI_a \dots \dots \dots (3)$$

Величина $A = 5,267$ эрстеда на 1 ампер экспериментально определена специальными измерениями.

Перед испытанием исследуемые образцы, заложенные в намагничивающую катушку, установленную перпендикулярно к ме-

¹ Oumlich und Rogowsky, Ann. der Phys. 1911 г.

ридиану земного магнитного поля, размагничивались переменным магнитным полем по методу E. Gumlich'a и Rogowsk'ogo.¹

На рис. 3 приведены кривые зависимости между остаточной индукцией B в образце после размагничивания и начальной напряженностью переменного магнитного поля. Кривая I относится к эллипсоиду из мягкого железа № I (4) с малой осью

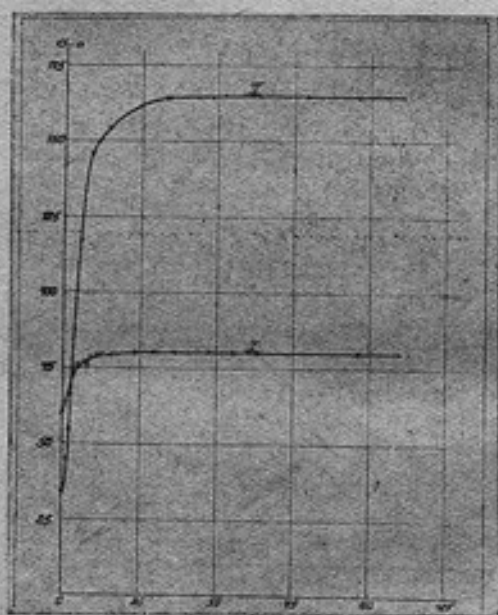


Рис. 4.—Fig. 4.

10,026 мм и большой осью 200,12 мм, кривая II — к цилиндрическому образцу из мягкого железа диаметром 5 мм и длиной 250 мм и кривая III — к цилиндрическому образцу из углеродистой стали диаметром 6 мм и длиной 300 мм.

Остаточная индукция измерялась сбрасыванием с нейтральной зоны образца измерительной катушки, присоединенной к баллистическому гальванометру (рис. 2).

Таким образом было установлено, в пределах точности измерений, что для полного размагничивания образца из мягкого железа начальная напряженность переменного магнитного поля

¹ E. Gumlich und Rogowsky. E. T. Z. 32, 180—184, 1911.

должна быть порядка 70 эрстедов, а для образцов из углеродистой стали — 150 эрстедов.

Зависимость магнитной индукции в образце, намагничиваемом в постоянном и переменном магнитных полях, от начальной напряженности последнего представлена кривыми рис. 4, где величины α_0 , отложенные по оси ординат, соответствуют отклонениям рамки гальванометра пропорциональным индукции. Кривая I относится к эллипсоиду из мягкого железа № 1 (4), а кривая II — к цилиндрическому образцу из углеродистой стали.

Как показали исследования, при измерении идеальной кривой намагничивания начальная напряженность переменного магнитного поля должна соответствовать значениям α_0 , лежащим на практически горизонтальном участке рассматриваемых кривых.

Измерение магнитной индукции B , необходимой для определения коэффициента размагничивания N по уравнению (2), производилось двумя способами. По первому способу образец сперва намагничивался в постоянном и переменном магнитных полях. Затем, после исчезновения последнего, с образца, лежащего в постоянном магнитном поле, сдвигалась измерительная катушка, соединенная с баллистическим гальванометром. По отклонению α_0 рамки последнего и вычислялась величина:

$$B = \frac{C\alpha_0}{n_2 S} \dots \dots \dots (4)^1$$

где C — постоянная баллистического гальванометра, выраженная в максвеллах на одно деление шкалы, $\alpha_0 = \alpha - \frac{\alpha^2}{3L^2}$ — исправленное значение отчета по прямолинейной шкале,² L — расстояние между зеркальцем гальванометра и шкалой, выраженное в делениях последней, n_2 — число витков измерительной катушки и S — площадь поперечного сечения образца в кв. сантиметрах.

Второй способ определения величины магнитной индукции, примененный впервые Lange,³ основан на том, что в области магнитного насыщения идеальная и нормальная кривые намагничивания сливаются (рис. 5). Таким образом, если сперва измерить магнитную индукцию B_m , соответствующую обоим кривым, а за-

¹ Строго говоря, сдвиганием с образца измерительной катушки определяется внутренняя магнитная индукция $B_i = B - H_i = 4\pi I$. Однако, на основа ли сделанного допущения, что для начала идеальной кривой намагничивания $H_i = 0$ [урав. (2)] можно принять, что в данном случае величина, определенная по уравнению (4), будет равна магнитной индукции B .

² Gumlich, „Leitfäden der Magnetischen Messungen“, стр. 68, 1918 г.

³ H. Lange, Zeit. f. tech. Phys. № 7, 1930 г.

тем изменение индукции ΔB , то величина B определится из уравнения:

$$B = B_m - \Delta B \dots \dots \dots (5)$$

Так как величина B_m соответствует идеальной и нормальной кривым намагничения, то для ее определения достаточно намагничивать образец только в одном постоянном магнитном поле.

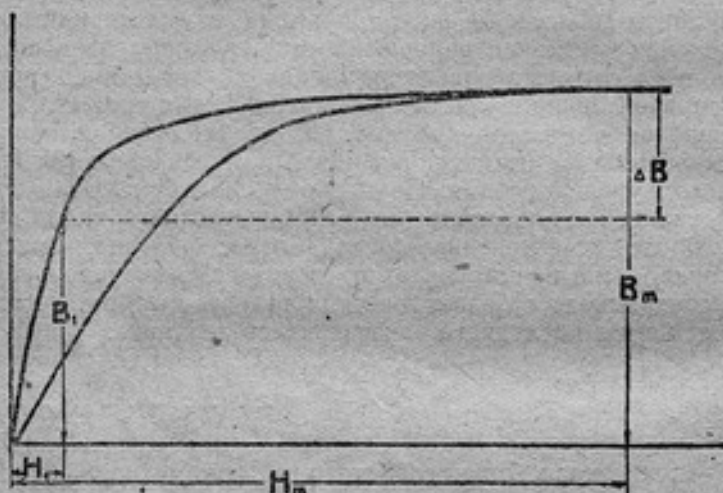


Рис. 5.—Fig. 5.

Как показало экспериментальное исследование, магнитная индукция B_m проще всего определяется измерением отклонения рамки баллистического гальванометра, соединенной с измерительной катушкой, надетой на образец, при включении постоянного тока в обмотку K_1 намагнивающей катушки (рис. 6):

Совершенно очевидно, что испытуемый образец должен быть предварительно размагничен.

Измерение величины ΔB производилось следующим образом.

Исследуемый образец сперва намагничивался постоянным магнитным полем напряженностью H_1 эрстедов и плавно убывающим до нуля переменным магнитным полем до индукции B_1 (рис. 5). После этого наблюдался отброс α рамки гальванометра при внезапном изменении напряженности магнитного поля от H_1 до H_m .

По полученным отчетам α_m и α величина B_1 , как легко показать, определится из уравнения:

$$B_1 = \frac{C}{n_2 S} \cdot (\alpha_{om} - \alpha_0), \quad \dots \dots \dots (6)$$

где:

$$\alpha_{om} = \alpha_m - \frac{\alpha_m^2}{3L^2} \quad \text{и} \quad \alpha_0 = \alpha - \frac{\alpha^2}{3L^2}$$

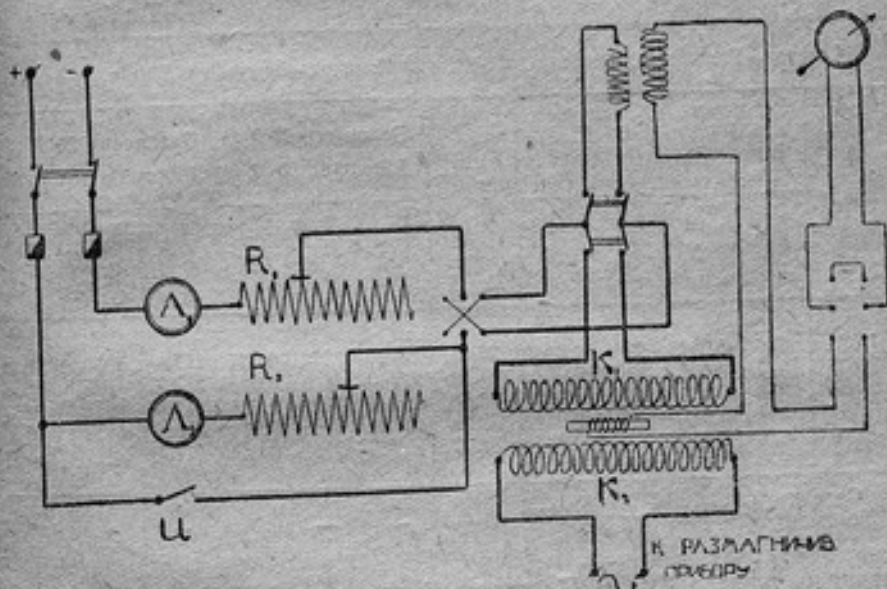


Рис. 6.—Fig. 6.

Величина α_m измерялась перед и после определения α , и в уравнение (6) подставлялось среднее из полученных таким образом значений α_m .

Изменение напряженности постоянного магнитного поля от H_1 до H_2 выполнялось рубильником κ (рис. 6); замыкающим накоротко реостат R_2 и амперметр A_2 .

Амперметр A_1 служил для отчета силы тока I_m при измерении магнитной индукции B_m (при этом рубильник κ замкнут), амперметр A_2 — для измерения силы тока I_1 , соответствующей напряженности магнитного поля H_1 .

Рассматриваемый метод определения магнитной индукции B практически более удобен, чем первый метод, так как для изме-

рения магнитной индукции сдвигиванием измерительной катушки с испытуемого образца требуется специальное устройство для укрепления и правильной центровки образца внутри намагничивающей катушки, что в некоторых случаях довольно затруднительно.

В таблице I приведены результаты определения по обоим методам коэффициентов размагничивания для двух эллипсоидов из

Таблица I

I метод—Première méthode					II метод—Seconde méthode						
H среднее oerstedс	Эллипсоид № I (4) Ellipsoïde No I (4)		Эллипсоид № II (5) Ellipsoïde No II (5)		H среднее oerstedс	Эллипсоид № I (4) Ellipsoïde No I (4)			Эллипсоид № II (5) Ellipsoïde No II (5)		
	B гауссы gauss	N	B гауссы gauss	N		B гауссы gauss	B _m гауссы gauss	N	B гауссы gauss	B _m гауссы gauss	N
2,107	315	0,081	313	0,0846	27,79	21740	4130	0,0855	21760	4195	0,0833
2,635	394	0,0840	393	0,0843	30,38	21740	4520	0,0845	21760	4559	0,0837
3,687	548	0,0845	550	0,0842	32,12	21740	4755	0,0849	21680	4827	0,0836
4,213	626	0,0846	626	0,0846	34,72	21730	5161	0,0845	21700	5221	0,0837
Среднее Moyennes	0,0843		—	0,0845	—	—	—	0,0846	—	—	0,0835

мягкого железа (0,08% С, следы Si (меньше 0,01%), 0,41% Mn 0,01% P, 0,045% S), и двух цилиндрических образцов из мягкого железа и углеродистой стали 0,8% С, имеющих размеры: эллипсоид I (4): малая ось 10,026 мм, большая ось 200,12 мм; эллипсоид II (5): малая ось 9,449 мм, большая ось 200,11 мм; цилиндрические образцы из мягкого железа: длина 250 мм, диаметр 5 мм, и из углеродистой стали: длина 300 мм и диаметр 6 мм. При определении коэффициентов размагничивания по второму способу максимальная индукция была равна:

Для эллипсоидов вращения $B_m \approx 21\,700$ гауссов

Для цилиндрического образца из углеродистой
стали $B_m \approx 21\,200$ гауссов

Для цилиндрического образца из мягкого железа $B_m \approx 22\,000$

Коэффициенты размагничивания эллипсоидов вращения I (4) и II (5) были экспериментально определены в 1929 г. в Р. Т.

(Schuddemagen) и твердости материала (Lange), из которого они сделаны.

Вывод Schuddemagen'a отчасти подтверждается позднейшими исследованиями Dussler'a,¹ а вывод Lange не согласуется с результатами, полученными Wurschmidt'ом, что может быть объяснено (Lange) более высокой начальной проницаемостью и меньшей твердостью материала образцов, исследованных Wurschmidt'ом.

Кроме приведенных выше исследований эллипсоидов вращения и цилиндрических образцов, был исследован также пакет листовой электротехнической стали, состоящий из 8 отдельных полосок длиной около 35 см и шириной около 1,5 см. Общее поперечное сечение всех полосок, составлявших пакет, — 0,552 см², причем было принято, что плотность материала равна 7,65 г/см³.

Определение коэффициента размагничивания N этого образца производилось по 1-му способу. Полученные результаты приведены в таблице IV.

Таблица IV—Tableau IV.

H эрстеды oersteds	B гауссы gauss	N	H эрстеды oersteds	B гауссы gauss	N
2,604	1770	0,0185	3,910	2655	0,0185
3,068	2075	0,0186	4,348	2950	0,0185
3,472	2370	0,0184	4,774	3225	0,0186

Среднее } $N = 0,01852$
Moyenne }

В 1927 году W. Schneider² экспериментально показал, что образцы в виде круглых цилиндров, прямоугольных брусков и прямых трубок имеют один и тот же коэффициент размагничивания, если только отношение длины к диаметру цилиндрического стержня равно отношению длины прямоугольного бруска или трубки к величине:

$$\delta = \sqrt{\frac{4S}{\pi}}, \dots \dots \dots (8)$$

где S — площадь поперечного сечения прямоугольного образца или трубки. Поэтому представлялось интересным проследить, не наблюдается ли аналогичной зависимости между коэффициентами размагничивания сплошных круглых цилиндрических образцов и пакетов из листового материала.

¹ Dussler. Ann. der Phys., 86. Heft 8 (№ 9), s. 66, 1928.

² W. Schneider. Zeit. f. Phys., B. 42, s. 883—893, 1927.

По приведенным выше размерам образца из листовой электротехнической стали относительные размеры эквивалентного цилиндрического образца определились равными:

$$\frac{L}{D} = \frac{35}{\frac{1}{4}} = \frac{35}{\sqrt{\frac{4,0552}{\pi}}} = \frac{35}{0,838} = 41,8,$$

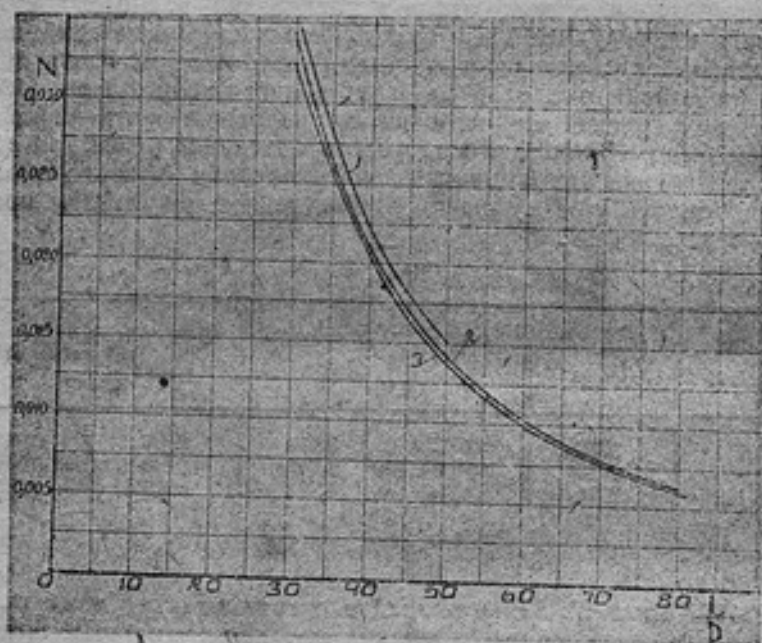


Рис. 7.—Fig. 7.

где L — длина и D — диаметр, а его коэффициент размагничивания, по данным Schuddemagen'a, равным 0,0190, что достаточно хорошо согласуется с коэффициентом размагничивания (0,0185) образца из листовой электротехнической стали. На рис. 7 приведена зависимость коэффициента размагничивания N цилиндрических образцов от отношения $\frac{L}{D}$, для D от 0,6 до 2 см. Кривая 1 получена по данным Würschmidt'a, кривая 2 — по данным Shuddemagen'a (Method of Steps) и кривая 3 — по его же данным (Method of Reversals).

Выводы. 1. Оба рассмотренных метода определения коэффициентов размагничивания N являются — по сравнению с другими — наиболее простыми и легче осуществимыми.

2. Как показали измерения с эллипсоидами вращения, точность определения величины коэффициента N как по первому, так и по второму методу должна быть признана вполне удовлетворительной.

3. Определение N по первому методу возможно даже при наличии небольшой аккумуляторной установки с напряжением порядка 6—8 вольт. Для измерений по второму методу необходимо иметь в распоряжении аккумуляторную батарею с напряжением не меньше 110—120 вольт, так как в этом случае приходится намагничивать исследуемый образец до насыщения, что достигается только в магнитном поле напряженностью около 1000 эрстедов.

4. Второй метод позволяет сравнительно просто определять коэффициенты размагничивания сплошных образцов неопределенной геометрической формы и пакетов из листового или пруткового материала. Применение первого или какого-либо другого метода в этих случаях не только затруднительно, но часто и невозможно.

5. При измерении по первому методу необходимо иметь в виду, что сдергивание и надевание измерительной катушки может сопровождаться легкими встряхиваниями испытуемого образца, что в свою очередь может повлиять на точность измерений.

DETERMINATION DES FACTEURS DEMAGNETISANTS A L'AIDE DE LA COURBE D'AIMANTATION IDEALE.

Par S. P. Boudrine

(Résumé)

Le présent travail a été exécuté au Laboratoire des Etalons magnétiques de l'Institut de Métrologie et Standardisation de l'U.R.S.S.

Les mesures magnétiques ont été effectuées: a) avec deux ellipsoïdes en fer doux (0,08% C, les traces de Si ne dépassant pas 0,01%, 0,41% Mn, 0,01% P, 0,045% S) ayant les dimensions:

	Petit axe	Grand axe
Ellipsoïdes I (4):	10,026 mm	200,12 mm
Ellipsoïde II (5):	9,449 mm	200,11 mm

b) avec deux échantillons cylindriques en fer et acier au carbone ayant les dimensions:

	Longueur l	Diamètre d	Rapport l/d
Echantillon en fer doux:	250 mm	5 mm	50
Echantillon en acier au carbone (0,8% C):	300 mm	6 mm	50

et c) avec un paquet de tôle d'acier électrotechnique contenant 8 bandes séparées de longueur d'environ 35 cm et de largeur d'environ 1,5 cm. La section transversale totale de toutes les bandes a été déterminée égale à 0,552 cm², la densité était égale à 7,65 g/cm³.

Les échantillons à essayer étaient aimantés dans une bobine cylindrique de 100 cm de longueur, montée perpendiculairement au méridien du champ magnétique terrestre.

La bobine magnétisante avait deux enroulements K_1 et K_2 pour les courants continu et alternatif.

Avant les mesures les échantillons avaient été désaimantés dans un champ magnétique alternatif avec une amplitude décroissante jusqu'au zéro par la méthode de Gumlich et Rogowsky.

Sur la figure 3 sont reproduites les courbes de la relation entre l'induction résiduelle dans l'échantillon après la désaimantation et l'intensité initiale du champ magnétique alternatif, obtenues par la méthode ballistique (figure 2). Ces courbes ont servi à déterminer l'ordre de la valeur de l'intensité initiale du champ magnétique alternatif, assurant la désaimantation complète de l'échantillon à essayer.

La courbe d'aimantation I est déterminée d'après laquelle on déterminait les facteurs démagnétisants N et H à l'aide des résultats de l'aimantation de l'échantillon dans un champ magnétique H ou H_1 dans un régime qui pose un champ magnétique constant avec une intensité qui décroît graduellement de H à H_1 .

A une partie de l'aimantation l'induction magnétique sera plus grande qu'à une aimantation par le seul champ magnétique constant. La relation entre l'induction magnétique dans l'échantillon et le champ magnétique H est représentée par les courbes de la figure 1, où les ordonnées B correspondent aux déviations du galvanomètre ballistique momentané ou détaché bobiné du système de l'échantillon & essayer (figure 2). L'expérience est conduite de telle façon que la détermination de la courbe d'aimantation I et l'intensité H du champ magnétique alternatif correspondent aux valeurs qui se trouvent sur la section pratique de la courbe corrigée.

Dans les mesures magnétiques effectuées avec une bobine de mesure on distingue deux courbes d'aimantation: a) la courbe d'aimantation „non corrigée“ et b) la courbe d'aimantation „corrigée“ ou „révisée“. La première courbe donne une relation entre l'induction magnétique et l'intensité du champ magnétique H et la seconde donne la relation entre B et l'intensité du champ magnétique H_1 . Les valeurs H et H_1 sont liées par l'équation:

$$H_1 = H - N \frac{4\pi I}{l} \quad (1)$$

où N est le facteur démagnétisant.

La section initiale de la courbe d'aimantation corrigée coïncidant pratiquement avec l'axe des ordonnées, on peut admettre pour cette section de la courbe $B = f(H_1)$:

$$H_1 = H - N \frac{B - H_1}{4\pi} = 0,$$

d'où:

$$N = 4\pi \frac{H}{B} \quad (2)$$

L'intensité du champ magnétique extérieur H était calculée d'après l'intensité du courant continu et la constante de l'enroulement K de la bobine magnétisante (figure 2):

$$H = 55,267 I, \text{ oerstedes} \quad (3)$$

L'induction magnétique B est déterminée par deux méthodes: 1) on détache la bobine de mesure et on la raccorde au galvanomètre ballistique de l'échantillon 2) par la méthode de Lange (figure 3).

Les facteurs démagnétisants des ellipsoïdes de rotation et des échantillons cylindriques ont été déterminés par les deux méthodes (tableau I), et celui du paquet de tôle d'acier électrotechnique, par la seconde méthode seulement (tableau II).

Au tableau II sont mises en parallèle les valeurs des facteurs démagnétisants déterminés à l'Institut de Métrologie et Standardisation (ВИМС) et à la P. T. Reichsanstalt (PTR), les mesures à la PTR étant faites en 1929. Au même tableau figurent aussi les valeurs des facteurs démagnétisants calculées par l'auteur d'après l'équation:

$$N = 4 \pi \beta \left(\frac{21}{21^2} \ln \frac{1+\epsilon}{1-\epsilon} - \frac{1}{1-\epsilon} \right)$$

où β est le rapport du petit axe de l'ellipsoïde à son grand axe et ϵ son excentricité.

Au tableau III figurent les facteurs démagnétisants des échantillons cylindriques ayant le rapport $l/d=50$, déterminés par divers auteurs.

Le facteur démagnétisant déterminé pour l'échantillon de tôle d'acier (0,0185₂) coïncide assez bien avec celui de l'échantillon cylindrique ayant les dimensions relatives:

$$l/d=41,8.$$

Par l'interpolation des données de Schuddemagen (figure 7) le facteur démagnétisant de cet échantillon peut être pris égal à 0,0190.

Conclusions. 1. Les mesures avec les ellipsoïdes de rotation ont démontré que les deux méthodes pour la détermination des facteurs démagnétisants donnent résultats bien satisfaisants.

2. La seconde méthode permet de déterminer d'une manière comparativement simple les facteurs démagnétisants des échantillons continus ayant une forme indéterminée et des paquets de matière en tôle ou en barres. L'emploi de la première méthode ou d'une autre méthode quelconque est dans ces cas non seulement difficile, mais souvent impossible.

ИЗМЕРЕНИЕ МАГНИТНОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ ЛИСТОВОЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ СТАЛИ В СЛАБЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЯХ НА ПОСТОЯННОМ ТОКЕ

С. П. Будрин

В настоящей работе приводятся результаты исследования баллистическим методом двух кольцевых образцов из листовой электротехнической стали, размеры которых приведены в таблице I.

Таблица I—Tableau I

Образцы Echantillons	Масса • Masse g	Внешний диаметр Diamètre extérieur cm	Внутренний диаметр Diamètre intérieur cm	Сечение Section cm ²
№ 1 (трансформаторная сталь) No 1 (acier pour transformateurs)	738	15,0	10,5	2,41 ₃
№ 2 (динамная сталь) № 2 (acier pour dynamos)	1502	15,0	10,5	4,82 ₄

Для определения магнитной проницаемости μ измерялись основные коммутационные кривые намагничения $B = f(H)$.

Испытуемые образцы были снабжены только одной равномерно распределенной обмоткой, присоединяемой к баллистическому гальванометру и служившей для измерения магнитной индукции B и намагничивались при помощи вертикально протянутого провода с электрическим током. При этом испытуемый образец помещался на горизонтальной подставке, имеющей прорезь для провода с током.

Напряженность H магнитного поля в некоторой точке, лежащей вне прямолинейного провода с током на расстоянии X от последнего, выражается уравнением

$$H = 2 \frac{I}{X}, \dots \dots \dots (1)$$

где I — сила тока в абсолютных электромагнитных единицах.

Для бесконечно узкого кольца (рис. 1) шириной dx и высотой h величина магнитного потока $d\Phi$ выразится уравнением:

$$d\Phi = \mu H h dx = 2\mu h l \frac{dx}{X} \dots \dots \dots (2)$$

Принимая для воздуха $\mu = 1$ и интегрируя уравнение (2) в пределах от $X = d/2$ до $X = D/2$, где D и d — соответственно внешний и внутренний диаметры кольца, получим среднее значение магнитного потока Φ :

$$\Phi = 2hl \int_{d/2}^{D/2} \frac{dx}{X}$$

Соответствующее значение напряженности магнитного поля H выразится уравнением:

$$H = \frac{\Phi}{S} = 2 \frac{\Phi}{h(D-d)} = 4I \frac{\ln \frac{D}{d}}{D-d} \dots \dots \dots (3)$$

или:

$$H = 0,4I \frac{\ln D/d}{D-d} \text{ эрстедам, } \dots (3a)$$

где I выражено в амперах, а D и d — в сантиметрах.

Если на кольцо навита обмотка, соединенная с баллистическим гальванометром и состоящая из n витков, то при переключении электрического тока в прямолинейном проводе рамка гальванометра отклонится на некоторый угол, величина которого пропорциональна изменению величины магнитной индукции ΔB в кольце, числу витков обмотки n и поперечному сечению кольца S .

Выражая угол отклонения рамки гальванометра в делениях шкалы и принимая во внимание, что при переключении тока в прямолинейном проводе: $\Delta B = 2B$, получим следующее равенство:

$$C \alpha = 2BnS$$

или:

$$B = \frac{C}{2nS} \alpha, \dots \dots \dots (4)$$

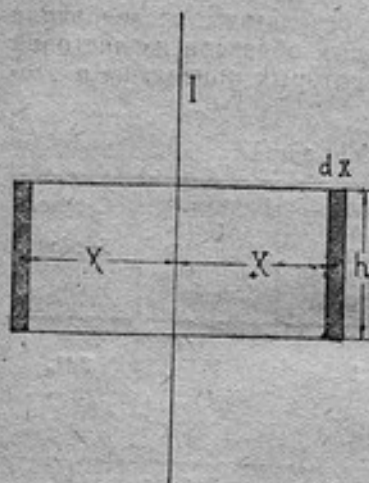


Рис. 1.—Fig. 1.

где C — постоянная гальванометра в максвеллах на 1 деление шкалы при данном сопротивлении вторичной цепи, α — отклонение гальванометра в делениях шкалы.

Если сечение образца S выражено в квадратных сантиметрах, то уравнение (4) определяет магнитную индукцию B в гауссах.

Уравнения (3а) и (4) дают возможность экспериментально найти кривую $B=f(H)$, характеризующую материал данного кольцевого образца.

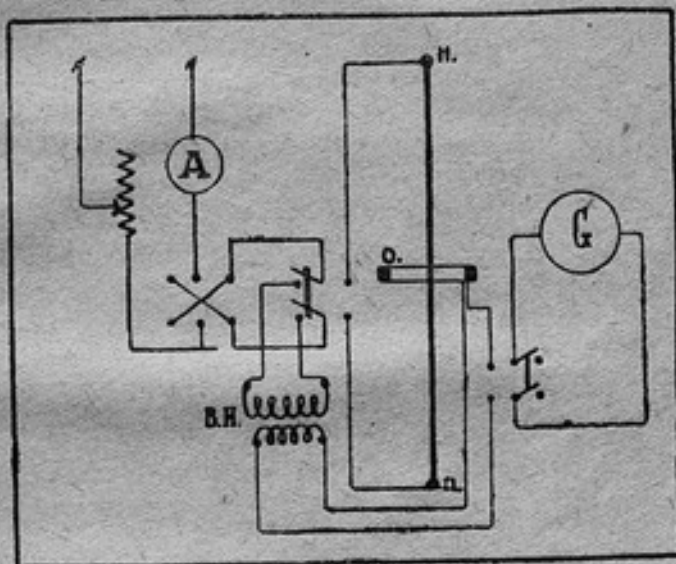


Рис. 2.—Fig. 2

Схема установки, на которой производились измерения, дана на рис. 2. Здесь O — испытуемый образец, $H, П$ — намагничивающий провод, $В. И$ — катушка взаимной индукции для градуировки баллистического гальванометра G и A — амперметр.

Перед началом измерений исследуемые образцы размагничивались переменным магнитным полем с плавно убывающей до нуля амплитудой (метод Гумлиха и Роговского).¹

В процессе исследований было обнаружено, что на результатах измерений сказывается время, протекшее между окончанием размагничивания и началом измерений.

Если определение кривой намагничивания $B=f(H)$ производилось практически сразу после размагничивания образца, то эта кри-

¹ Gumlich und Rogowski. E. T. Z., 1911, 181, 32.

вая ложилась выше, если спустя некоторое время, то — ниже. Исследование этого явления показало, что кривые намагничивания совпадают только в том случае, если для них равны промежутки времени между концом размагничивания и началом измерений.

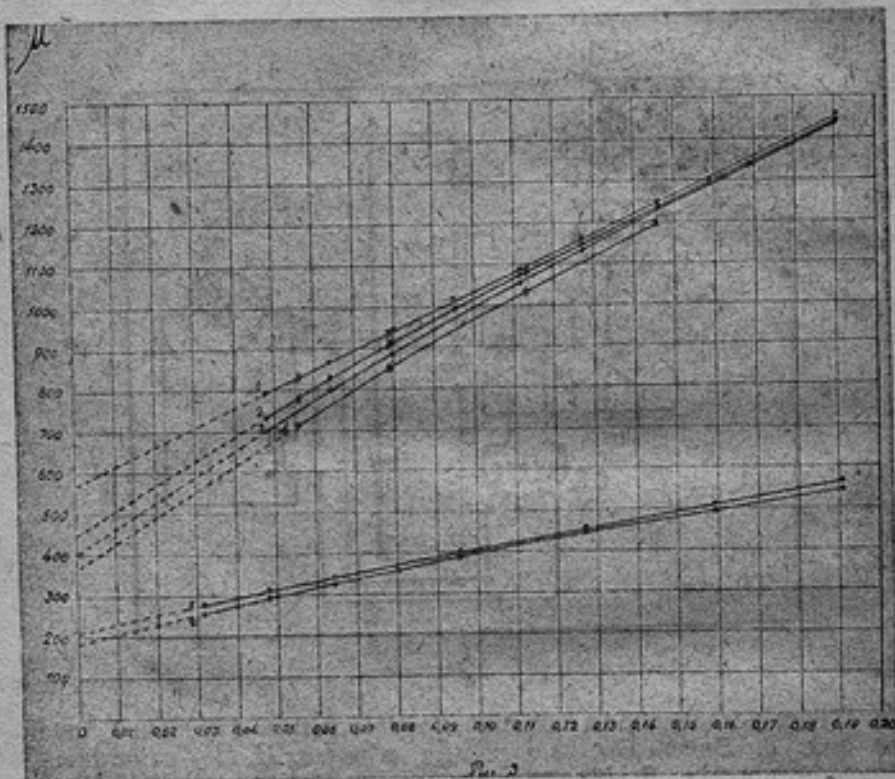


Рис. 3.—Fig. 3.

Необходимо отметить, что это явление было обнаружено уже ранее Вильдом и Перрье¹ и Штейнгаузом,² причем последний указывает, что описываемое явление наблюдается только для легированных сортов стали (но однако не для всех).

¹ G. Wild et Abb. Perrier. Arch. d. Scien. Phys et Natur., 1925.

² Steinhaus: Zeit. f. Tech. Phys., 1926 № 10.

Помимо измерений на прямолинейном проводе с образцом №1 были произведены также измерения кривых намагничивания $B=f(H)$ обычным баллистическим методом с равномерно распределенной по образцу намагничивающей обмоткой. Напряженность магнитного поля, в этом случае, вычислилась по уравнению:

$$H = 0,4 N I \frac{lg \frac{D/d}{D-d}}{D-d} \text{ эрстедам. (5)}$$

где N — число витков намагничивающей обмотки.

Полученные результаты, в пределах точности измерений, хорошо согласуются (для одинаковых промежутков времени между окончанием размагничивания и началом измерений) с данными, полученными по изложенному выше методу, что позволило при исследовании кольца №2 обойтись без поверочных измерений с равномерно распределенной намагничивающей обмоткой.

Результаты определения магнитной проницаемости для различных промежутков времени после размагничивания приведены в таблицах II, III и IV. По данным последних построены кривые $\mu=f(H)$, представленные на рис. 3. Пользуясь этими кривыми путем экстраполяции определены значения начальной магнитной проницаемости, приведенные в таблице V.

Из кривых $\mu=f(H)$ образца №1 обращает на себя внимание кривая, соответствующая измерениям сразу после размагничивания, как имеющая явно выраженный прямолинейный характер.

Таблица II—Tableau II

Образец № 1. Намагничивание прямолинейным проводом
Echantillon No 1. Aimantation par un conducteur rectiligne

Напряженность магнитного поля; эрстеда Intensité du champ magnétique; oersteds	Магнитная проницаемость—Perméabilité magnétique						
	Сразу Immédiatement après	Спустя 10 минут 10 minutes après	Спустя 20 минут 20 minutes après	Спустя 40 минут 40 minutes après	Спустя 1 час 1 heure après	Спустя 2 часа 2 heures après	Спустя 8 часов 8 heures après
0,0477	798	770	763	737	730	711	698
0,0633	876	860	849	835	830	815	797
0,0795	947	945	930	928	918	909	889
0,0951	1026	1017	1016	998	998	911	—
0,111	1034	1094	1083	1073	1070	1070	1055
0,127	1165	1161	1154	—	1150	1144	1141
0,159	1306	1306	1303	1290	1290	1290	1289
0,191	1455	1455	1455	1450	1445	1440	1440

Кривые $\mu = f(H)$ образца № 2 имеют более однородный характер и показывают относительно меньшее изменение проницаемости в зависимости от промежутка времени после намагничивания. Можно предполагать, что в данном случае сказывается относительно большая твердость в магнитном отношении материала образца № 2 по сравнению с материалом образца № 1. Из приведенных на рис. 3 кривых образца № 1 можно усмотреть, что

Таблица III—Tableau III

Образец № 1. Намагничивание равномерно распределенной обмоткой
Echantillon № 1. Aimantation par un enroulement uniformément distribué

Напряженность магнитного поля; эрстеды Intensité du champ magnétique; oersteds	Магнитная проницаемость—Perméabilité magnétique			
	Сразу Immédiatement après	Спустя 1 час 1 heure après	Спустя 12 часов 12 heures après	Спустя 20 часов 20 heures après
0,0561	832	784	721	714
0,0785	938	913	860	858
0,112	1097	1080	1039	1029
0,146	1243	1232	1193	1193
0,168	—	1331	1300	—

Таблица IV—Tableau IV

Образец № 2. Намагничивание прямолинейным проводом
Echantillon № 2. Aimantation par un conducteur rectiligne

Напряженность магнитного поля; эрстеды Intensité du champ magnétique; oersteds	Магнитная проницаемость—Perméabilité magnétique				
	Сразу Immédiatement après	Спустя 5 минут 5 minutes après	Спустя 20 минут 20 minutes après	Спустя 1 час 1 heure après	Спустя 20 часов 20 heures après
0,0318	273	271	271	264	268
0,0478	309	304	302	302	293
0,0638	339	337	333	333	324
0,0798	—	368	364	365	355
0,0953	399	395	395	395	386
0,127	454	448	448	450	442
0,159	508	501	501	503	496
0,191	561	553	553	555	549

наибольшие расхождения между ними наблюдаются в относительно более слабых полях.

Если для напряженности магнитного поля $H = 0,0477$ эрстеда (наименьшая величина таблицы II) проследить уменьшение величины μ с увеличением промежутка времени, то окажется (таблица VI), что уже при $t = 20$ мин. относительное уменьшение μ составит $4,6\%$, а при $t = 60$ мин.— $8,5\%$. При увеличении же промежутка времени до $t = 8$ часам расхождение достигает уже $12,5\%$.

Таблица V—Tableau V

Образцы Echantillons	Начальная магнитная проницаемость Perméabilité magnétique initiale			
	Сразу Immédiatement après	Спустя 1 час 1 heure après	Спустя 8 часов 8 heures après	Спустя 20 часов 20 heures après
№ 1	570	450	405	370
№ 2	215	—	—	185

Таблица VI—Tableau VI

$H = 0,0477$ oersteds		
Промежуток времени после размагничивания; минуты Intervalle de temps après la désaimantation	μ	$\frac{\mu_0 - \mu_{t, 0,0}}{\mu_0}$
0	793	0,0
10	770	3,5
20	763	4,6
40	737	7,6
60	730	8,5
120	711	10,9
480	698	12,5

При несколько большей величине напряженности магнитного поля $H = 0,0561$ (таблица III) для того же образца № 1 расхождение между величинами магнитной проницаемости, измеренной сразу после размагничивания и спустя 20 часов, достигает уже $14,2\%$.

Из всего вышеизложенного с несомненностью следует, что при измерениях в слабых магнитных полях с образцами листовой электротехнической стали необходимо фиксировать промежуток времени между окончанием размагничивания и началом

измерений. Можно остановиться на величине $t = 120$ мин., так как к этому времени материал образца уже успевает приобрести относительно стабильное состояние, что в известной степени гарантирует получение сравнимых результатов.

Необходимо указать, что размагничивание образцов перед измерениями имеет существенное значение, так как результаты измерений с плохо или вовсе не размагниченным образцом сильно отличаются от результатов, получаемых для размагниченного образца. Так, например, кривая $\mu = f(H)$ образца № 2, не размагниченного перед измерениями, ложится значительно ниже соответствующих кривых того же образца, измеренных сразу после размагничивания и даже спустя 20 часов после размагничивания. Расхождение между крайними кривыми увеличивается с возрастанием напряженности магнитного поля. Если в начале кривых расхождение в величинах магнитной проницаемости составляет 10,6%, то в конце их оно возрастает до 21,6%.

Выводы 1. Примененный метод измерений магнитной проницаемости (намагничивание при помощи прямолинейного провода с током), в слабых магнитных полях на кольцевых образцах по сравнению с обычным методом измерений (намагничивание при помощи равномерно распределенной по образцу обмотки) имеет преимущество как в экономии обмоточного провода, так и времени, затрачиваемого на выполнение намагничивающей обмотки. Кроме того этот способ более прост, и легче осуществимы измерения намагничивающих токов, имеющих силу порядка одного — нескольких ампер; в то время как при намагничивании равномерно распределенной по образцу обмоткой сила тока, создающего слабое магнитное поле, имеет значение порядка миллиампер.

2. Необходимо перед измерениями размагничивать испытуемые образцы, для чего можно рекомендовать метод Гумлиха и Роговского (принятый в эталонной магнитной лаборатории ВИС).

3. Необходимо считаться с фактом зависимости результатов измерений магнитной индукции B и магнитной проницаемости μ от промежутка времени между окончанием размагничивания образца и началом измерений. Указанная зависимость проявляется в уменьшении величин B и μ , при одних и тех же значениях напряженности магнитного поля H , с увеличением промежутка времени. Поэтому при сравнительных испытаниях одного и того же образца представляется необходимым заранее обусловить, по истечении какого промежутка времени после размагничивания производить измерения.

4. На основании кривых $\mu = f(t)$ образца № 1 этот промежуток времени можно принять равным 120 минутам, так как в этом случае материал образца уже успевает приобрести относительно стабильное состояние.

DETERMINATION DE LA PERMEABILITE MAGNETIQUE DE LA TOLE D'ACIER ELECTROTECHNIQUE DANS LE CHAMP MAGNETIQUE FAIBLE

Par S. P. Boudrine

(Résumé)

La détermination de la perméabilité magnétique de deux échantillons annulaires en tôle d'acier électrotechnique a été effectuée par la méthode ballistique au courant continu. Les dimensions de ces échantillons sont indiquées au tableau 1.

On a mesuré les courbes d'aimantation (de commutation) $B=f(H)$.

Les échantillons à essayer étaient aimantés à l'aide d'un conducteur traversé par le courant et tendu verticalement. Pour la mesure de l'induction magnétique B on plaçait sur les échantillons à essayer un enroulement uniformément distribué, relié à un galvanomètre ballistique. Le schéma de la disposition de mesure est représenté sur la figure 2.

L'intensité du champ magnétique H était calculée d'après l'équation:

$$H = 0,4 I \frac{\ln D/d}{D-d} \text{ oersteds,}$$

où I est l'intensité du courant en ampères, D et d sont les diamètres extérieur et intérieur de l'anneau en centimètres.

L'induction magnétique B était calculée d'après la formule:

$$B = \frac{C}{2\pi S} \alpha,$$

où C est la constante du galvanomètre exprimée en maxwells par division de l'échelle, n le nombre de spires de l'enroulement, S la section de l'échantillon en centimètres carrés, et α la déviation du galvanomètre à la commutation du courant dans le conducteur magnétisant.

Avant les mesures les échantillons à essayer étaient désaimantés par la méthode de Gumlich et Rogowsky.

On a découvert que les résultats des mesures dépendent de l'intervalle de temps écoulé entre la désaimantation et les mesures, notamment, plus grand est cet intervalle, plus basse est la position des courbes $B=f(H)$ et $\mu=f(H)$. Il faut noter que ce phénomène avait été découvert par Wield et Perrier et par Steinhaus.

Pour l'échantillon No 1 (acier pour transformateurs) on avait trouvé aussi les courbes d'aimantation par la méthode ballistique en se servant de l'enroulement magnétisant uniformément distribué sur l'échan-

tillon. Dans ce cas l'intensité du champ magnétique H était calculée d'après l'équation:

$$H = 0,4 \frac{NI}{D-d} \ln \frac{D}{d} \text{ oersteds,}$$

où N est le nombre de spires de l'enroulement magnétisant. Les résultats obtenus correspondent bien aux données des mesures faites par la première méthode, dans les limites de précision des mesures.

Les résultats de la détermination de la perméabilité magnétique pour les différents intervalles de temps après la désaimantation figurent aux tableaux II, III et IV, et les courbes $\mu=f(H)$ tracées d'après ces données sont représentées par la figure 3.

En se servant de ces courbes on a déterminé par extrapolation les valeurs de la perméabilité magnétique initiale μ_0 , indiquées au tableau V.

A propos de courbes de la figure 3 on peut noter que la courbe $\mu=f(H)$ de l'échantillon No 1, déterminée immédiatement après la désaimantation, a un caractère rectiligne, et la plus grande divergence entre les autres courbes $\mu=f(H)$ est observée pour les champs relativement plus faibles. Les courbes $\mu=f(H)$ de l'échantillon No 2 ont un caractère plus uniforme et montrent un changement de perméabilité moins grand.

Le tableau VI donne les changements relatifs de la perméabilité de l'échantillon No 1 en rapport avec les différents intervalles de temps entre la désaimantation et les mesures pour $H=0,0477$ oersteds.

Il faut noter, que la désaimantation des échantillons avant les mesures a beaucoup d'importance; par exemple, la courbe $\mu=f(H)$ de l'échantillon No 2, qui n'avait pas subi la désaimantation avant les mesures, est disposé bien au-dessous des courbes, mesurées immédiatement après la désaimantation et même 20 heures plus tard.

Conclusions: 1) La méthode des mesures employée (aimantation à l'aide du conducteur rectiligne traversé par le courant) par rapport à la méthode usuelle des essais des échantillons annulaires (aimantation à l'aide de l'enroulement magnétisant uniformément distribué sur l'échantillon) a un avantage d'économie du fil de l'enroulement et du temps.

2) Il est indispensable d'avoir en vue la dépendance des résultats des mesures de l'induction B et la perméabilité μ de l'intervalle de temps entre la désaimantation de l'échantillon et les mesures. Cette dépendance se manifeste, pour les mêmes valeurs de l'intensité du champ magnétique H , par la diminution des valeurs B et μ en rapport avec l'augmentation de l'intervalle de temps. C'est pourquoi, dans les essais comparatifs du même échantillon, il faut fixer d'avance cet intervalle. D'après les courbes $\mu=f(t)$ de l'échantillon No 1 on peut prendre 120 minutes, car cet intervalle suffit pour la stabilisation satisfaisante de l'échantillon.

НОВЫЙ ПРИБОР ДЛЯ ГРАДУИРОВКИ МАГНИТОМЕТРА

Е. Т. Чернышев

Магнитометр магнитной лаборатории ВИМС, представляет собой астатический магнитометр для абсолютных измерений магнитных свойств ферромагнитных материалов. Конструкция его в главных чертах следующая.

На тонкой платиновой нити длиной около 100 см и диаметром 0,5 мм подвешена астатическая система, состоящая из двух магнитов, повернутых друг относительно друга на 180° и жестко скрепленных прямолинейным алюминиевым стержнем, исключая возможность относительного вращения магнитов. Расстояние между магнитами выбрано настолько большим (191,3 см), что размагничивающее влияние одного магнита на другой практически исключается. На высоте одного метра от пола установлена горизонтально рейка, снабженная делениями, под углом 90° по отношению к магнитному меридиану. По рейке свободно перемещаются две катушки так, что ось катушек совпадает с направлением рейки. Если катушки, передвигаемые вдоль рейки, совершенно одинаковы, равно удалены от магнитной системы и поля их направлены навстречу, то магнитометр остается в покое.

Помещая испытуемый образец внутрь одной из катушек, мы будем иметь, пренебрегая взаимодействием с верхним магнитом, момент кручения нити равным:

$$D\alpha = FM\cos\alpha,$$

где D — коэффициент, характеризующий упругие свойства нити по отношению к кручению, α — угол закручивания, F — сила взаимодействия между образцом и нижним магнитом, M — магнитный момент последнего. Приняв во внимание взаимодействие с обоими магнитами и выразив силы через магнитный момент испытуемого образца, мы получим формулы, по которым, зная угол отклонения, сможем подсчитать индукцию в образце.

Индукция B в гауссах выражается равенством:

$$B = \frac{G \cdot a^3 (4\pi + N) (\alpha - D\cos\alpha)}{4A \left[1 + \frac{p}{a^2} + \Psi\left(\frac{a}{h}\right) \right] V},$$

где C — постоянная магнитометра, a — расстояние центра образца от центра нижнего магнита магнитометра в сантиметрах, N — коэффициент размагничивания испытуемого образца, $p = \frac{1}{2}L^2 - \frac{3}{4}l^2$ (L — расстояние между полюсами испытуемого

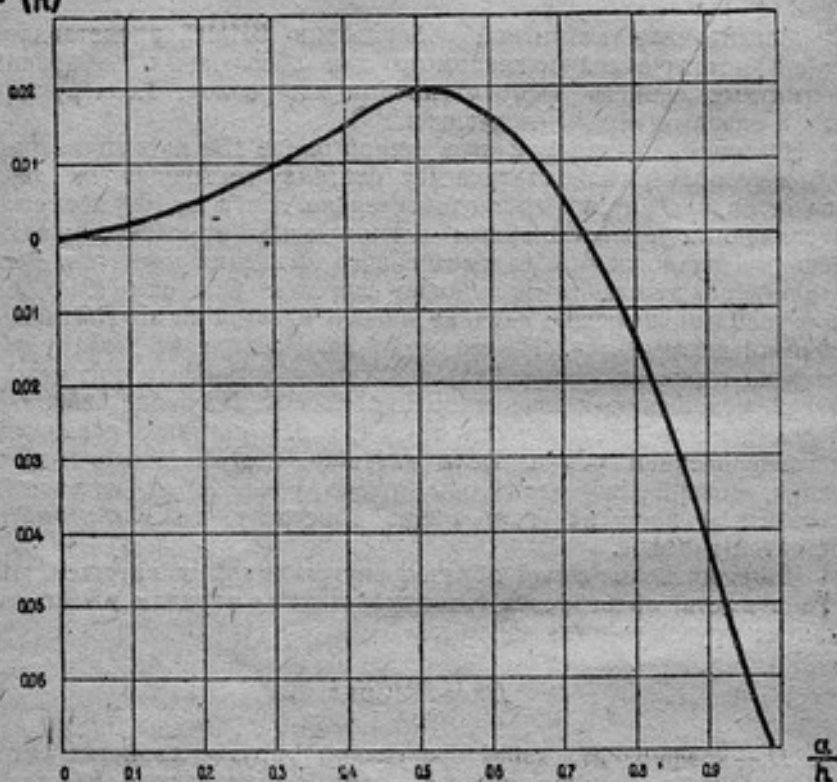
$$\Psi\left(\frac{a}{h}\right)$$


Рис. 1.—Fig. 1.

образца и l — расстояние между полюсами магнита магнитометра в сантиметрах), V — объем испытуемого образца в куб. сантиметрах, $\Psi\left(\frac{a}{h}\right)$ — некоторая функция от a и h (расстояние между магнитами астатической системы), характер которой указан на рис. 1, A — расстояние между шкалой и зеркалом магнитометра

($A=327 \text{ см}$), α — отклонение, отчитанное по шкале магнитометра, и $\Delta \alpha$ — поправка на несферичность шкалы:

$$\Delta \alpha = \frac{a^3}{3A^3}$$

Зная индукцию B , можно подсчитать и ту напряженность поля H_i , которая ей соответствует, если известен коэффициент размагничивания N и напряженность внешнего намагничивающего поля H :

$$H_i = \frac{4\pi H - NB}{4\pi - N}$$

Таким образом основные величины, характеризующие магнитное состояние материала, могут быть получены, если только известна постоянная магнитометра C .

Последняя может быть определена тремя способами: 1) посредством катушки с одним витком, 2) посредством катушки с определенным произведением числа витков на площадь сечения, 3) посредством магнита в форме эллипсоида вращения, магнитный момент которого известен.

Установив один виток весьма большого радиуса перпендикулярно магниту, т. е. в плоскости магнитного меридиана так, чтобы центр витка совпадал с продолжением оси нижнего магнита, для определения постоянной C мы будем иметь следующую формулу:

$$C = \frac{2r^2 \pi I}{10(a^2 + r^2)^{3/2}} \left[1 - \frac{\frac{3}{4} r^2}{(a^2 + \frac{r^2}{4})} + \Psi\left(\frac{a}{h}\right) \right] = C\alpha \left(1 + \frac{1}{2} \alpha^2 + \dots \right) \quad (1)$$

где I — сила тока, протекающего по витку, в амперах, a — расстояние от его центра до центра нижнего магнита в сантиметрах и r — радиус витка в сантиметрах. Остальные буквы имеют прежнее значение.

Вместо одного витка большого радиуса можно установить таким же образом катушку небольших размеров с многими витками в несколько слоев. Для такой катушки предварительно необходимо определить произведение числа ее витков на площадь среднего витка. Пропуская ток по обмотке такой катушки и наблюдая отклонение магнитометра, можно подсчитать постоянную C по формуле:

$$C = \frac{4MA \left[1 + \frac{r^2}{a^2} + \Psi\left(\frac{a}{h}\right) \right]}{a^3 (a - \Delta a)} \quad (2)$$

где $M=0,1 SnI$ — магнитный момент катушки, Sn — произведение среднего сечения в кв. сантиметрах катушки на число витков, I — сила тока в обмотке катушки в амперах.

Но можно поместить на одной высоте с нижним магнитом магнитометра магнит в форме эллипсоида вращения и пользоваться этой же формулой, подставляя только вместо M величину магнитного момента эллипсоида и вместо величины I , ко-

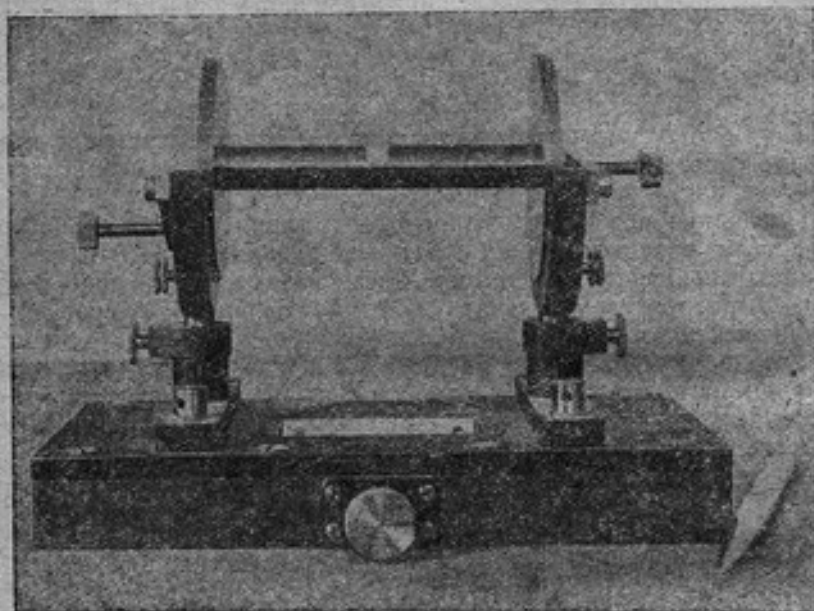


Рис. 2.—Fig. 2.

торая входит в формулу для p — длину равную $\frac{2}{3}$ длины эллипсоида, причем a будет расстояние центра эллипсоида до центра нижнего магнита магнитометра. Магнитный момент эллипсоида определяется абсолютным методом на магнитном теодолите.

Достоинством катушки с одним витком является простота определения радиуса, но зато это же является и ее узким местом, так как очень трудно при изготовлении точно выдержать этот радиус постоянным; кроме того при наличии только одного витка приходится пропускать через него очень большой ток, что связано с известными затруднениями.

Катушка со многими витками является весьма удобным портативным прибором, но сама нуждается в дополнительной гра-

дуировке для определения постоянной S_n . Последнее определяется обычно сравнением с другой катушкой, что связано с накоплением ошибок. Кроме этого при градуировке необходимо поддерживать строго постоянный ток в обмотке катушки.

Эллипсоид лишен вышеуказанных недостатков и обладает достоинством портативности, независимости от электрического тока, но имеет тот недостаток, что требует особо тщательного хранения во избежание изменения его магнитного момента.

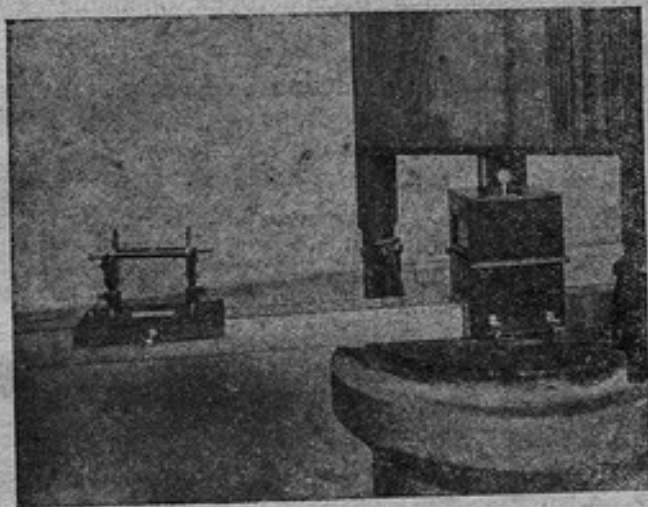


Рис. 3.—Fig. 3.

Сконструированный в магнитной лаборатории ВИМС прибор для градуировки магнитометра с магнитом в форме эллипсоида вращения представляет каретку, снабженную отметкой на середине (рис. 2) и имеющую возможность передвигаться вдоль рейки магнитометра. Установка этого прибора при градуировке магнитометра показана на рис. 3. По отметке можно фиксировать положение центра каретки на измерительной рейке.

Эллипсоид укладывается в цилиндрический патрон, укрепленный на каретке, и снабжен по середине штрихом, который может быть приведен в совпадение с штрихом, нанесенным в прорезе каретки. Эллипсоид изготовлен из закаленной кобальтовой стали и предварительно структурно и магнитно стабилизирован. При сравнительных градуировках катушкой и эллипсоидом, постоянная магнитометра, определенная с трех различных расстояний, оказалась равной:

Градуировка катушкой		Градуировка эллипсоидом	
см	C	см	C
73,75	0,15041	67,8	0,15012
56,2	0,15091	72,8	0,15021
55,8	0,15021	86,2	0,15038
Среднее 0,15051		Среднее 0,15024	

При измерениях с эллипсоидом магнитный момент, измеренный в Слуцкой магнитной обсерватории, принимался равным 1524,8.

Таким образом расхождение между средними значениями постоянной, определенной по обоим методам, составляет 0,18%.

ОГЛАВЛЕНИЕ

4 (20) выпуска Трудов Всесоюзного Научно-исследовательского Института метрологии и стандартизации (ВИМС)

	Стр.
Е. Г. Шрамков. Сравнительные магнитные испытания в магнитных лабораториях Physikalisch-Technische Reichsanstalt и Всесоюзного Института метрологии и стандартизации	3
Н. И. Спиридович. Магнитная восприимчивость латуни с различным содержанием железа и метод испытания слабомагнитных материалов	30
С. П. Будрин. Определение коэффициентов размагничивания при помощи идеальной кривой намагничивания	59
С. П. Будрин. Измерение магнитной проницаемости листовой электротехнической стали в слабых магнитных полях на постоянном токе	77
Е. Т. Чернышев. Новый прибор для градуировки магнитометра	87

TABLE DE MATIERES

des résumés des articles publiés dans la 4 (20) livraison des Travaux de l'Institut de Metrologie et Standardisation de l'U.R.S.S.

	Pages.
E. G. Schramkov. Essais magnétiques comparatifs, faites aux Laboratoires magnétiques de la P. T. Reichsanstalt et de l'Institut de Métrologie et Standardisation de l'U.R.S.S.	26
N. I. Spiridovitch. Susceptibilité magnétique du laiton à la teneur différente de fer, et la méthode d'essais des matières faiblement magnétiques	5
S. P. Boudrine. Détermination des facteurs démagnétisants à l'aide de courbe d'aimantation idéale	74
S. P. Boudrine. Détermination de la perméabilité magnétique de la tôle d'acier électrotechnique dans le champ magnétique faible	85
E. T. Tchernychov. Un nouveau appareil pour la graduation des magnéto- mètre	87

Издательство „Стандартизация и рационализация“

Москва, Центр, Рыбный пер., 2, пом. 28.

ХЕГНЕР КУРТ. Техническое нормирование. Том I.
Общая часть. 1933 г., стр. 224, ц. 3 р. 50 к.

СОДЕРЖАНИЕ:

Часть первая — Понятие о техническом нормировании. Измерители в техническом нормировании. Элементы технического нормирования. Понятие об объеме работы. Расчетные величины и их сокращенные обозначения.

Часть вторая — Методы нормирования машинного и ручного времени. Оценка. Метод сравнения. Нормирование на основе опытных величин. Нормирование на основе хронометража. Расчет машинного времени в мелкосерийном и единичном производстве. Определение норм времени для чисто ручной обработки. Области применения различных методов нормирования.

Часть третья — Надбавки.

ДУБНЕР, П. М. Станкочасы и техническое нормирование в планировании производства. Под ред. И. А. Краваля. 1933 г., стр. 187, ц. 3 р. 30 к.

СОДЕРЖАНИЕ:

Техническое нормирование, рационализация и учет производительности труда. Мера труда при капитализме и в СССР. Против оппортунистических теорий „убывающей производительности капиталовложений“. Станко- и трудочасы как метод технического планирования. Социалистический фонд вложений. За четкость методологии трудового учета. Приложения.

Издательство „Стандартизация и рационализация“

Москва, Центр, Рыбный пер., 2, пом. 28.

МАХРОВСКИЙ, В. Г. Допуски для конусов. ВИМС. 1933 г., стр. 58, ц. 1 р. 75 н.

Проект допусков для инструментальных конусов состоит из 24 таблиц, из которых 12 относятся к системе постоянных диаметров и 12 к системе постоянных расстояний. Каждая из указанных выше групп таблиц распадается на четыре класса точности. В основу составления таблиц положен практический материал германских заводов.

ПЕЧАТАЕТСЯ:

ВИМС. Определение электродвижущей силы международного нормального элемента Вестона посредством серебрян. вольтметра (на русском и французском яз.).

Сборник статей отчетов о научных работах работников Всес. научно-исследоват. ин-та метрологии и стандартизации. 10,5 п. л. Описываются эталонные катушки новой конструкции, сопротивления новой конструкции, эталон международного вольты.

НЮБЕРГ, Н. Измерение цвета и цветовые стандарты. 1933 г., стр. 104, ц. 4 р. 25 н.

СОДЕРЖАНИЕ: Значение цветовых измерений для промышленности. Цветовая терминология. Элементы теории цвета и цветовых измерений. Пространственная интерпретация цвета. Краткие сведения по физиологии зрения. Цветовые монограммы. Цветовые измерительные приборы. Точность цветовых измерений и вопрос о допусках по цвету. Стандартные условия ведения цветовых измерений. Существующие стандарты. Цветовые шкалы и атласы.

Принимает заявки, продажу и выполнение заказов изложенным платежом производят.

Магазин издательства: Кузнецкий мост, 20.

Отделения издательства: Ленинград, ул. Герцена, 11. Киев, ул. Воронского, 28. Смоленск, Б. Советская, 26. Горький, ул. Свердлова, 9. Иваново, Социалистическая, 40. Воронеж, пр. Революции, 87.

Представительства издательства: Отделения Книгосбыта ОНТИ Свердловск, ул. Левина, 38. Ростов-Дон, ул. Энгельса, 110. Самара, Ленинградская ул., 34. Украинское Отделение ОГИЗа РСФСР, Харьков, Сергиевская пл., 3. БАКТ—Минск, Революционная, 26. Казань, ул. Дзержинского, 1/29, подписание контора „Стандартсбыта“ издавна.

