

---

---

П. П. ГАЛЕНКО  
кандидат физико-математических наук

---

## ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ МАГНИТНОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ НИКЕЛЯ И АРМКО- ЖЕЛЕЗА ПРИ ДЕФОРМАЦИИ КРУЧЕНИЯ

Упругие и пластические деформации ферромагнитных металлов приводят к изменению их магнитных свойств. Несмотря на то, что этому вопросу посвящено много работ как теоретического, так и экспериментального характера, окончательного его разрешения еще не получено. Если достаточно изучены вопросы, касающиеся влияния упругих деформаций на магнитные свойства при одноосном растяжении и сжатии, то для упругой деформации кручения этот вопрос изучен мало, не говоря уже о влиянии пластической и знакопеременных деформаций.

Из работ (1, 2, 3, 4, 5 и др.) нельзя еще судить о характере изменения магнитных свойств ферромагнитных металлов при деформации кручения.

Такие исследования приобретают интерес при выяснении связи между механическими и магнитными свойствами металлов, а также и практическое значение при конструировании магнитодатчиков.

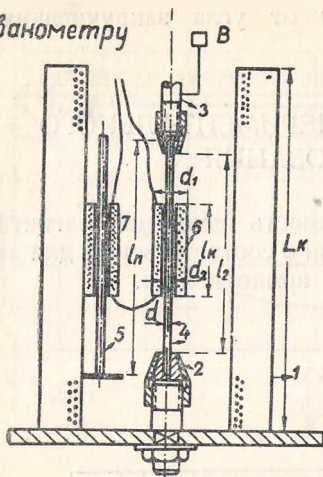
В этой работе приводятся систематические исследования изменения магнитной проницаемости никеля и армко-железа при знакопостоянных деформациях кручения.

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

При исследовании были взяты образцы из технически чистого никеля и армко-железа в виде проволок  $\varnothing = 1,5$  мм и длиной 72 мм. Образцы перед испытанием подвергались отжигу в течение 2,5 часа в вакууме при температуре 900°C.

Схема установки в разрезе для замера изменения магнитной

### К гальванометру



$N = 2620$  витков  
 $n = 8000$  витков  
 $L_K = 140$  мм  
 $l_K = 26$  мм;  $l_2 = 55$  мм  
 $l_1 = 72$  мм;  $d = 3,5$   
 $d_1 = 7$ ;  $d_2 = 1,5$

Рис. 1. Схема установки для замера изменения магнитной проницаемости:

1 — намагничивающая катушка; 2 — нижний зажим; 3 — верхний зажим с зеркальцем для замера угла закручивания  $\varphi$ ; 4 — последующий образец; 5 — эталонный образец; 6—7 — мерительные катушки, соединенные навстречу друг другу.

3. Общее сопротивление гальванометра и шунта оставалось равным сопротивлению гальванометра до его шунтирования.

Измерение магнитной проницаемости образца, подвергнутого деформации, определялось баллистическим гальванометром по дифференциальной схеме.

Отклонение гальванометра  $\alpha$  пропорционально изменению магнитной проницаемости образца  $\Delta\mu$ .

При непрерывном закручивании на одном и том же образце можно было проследить в данном магнитном поле  $H$  за измене-

проницаемости при постепенном закручивании образца дана на рис. 1.

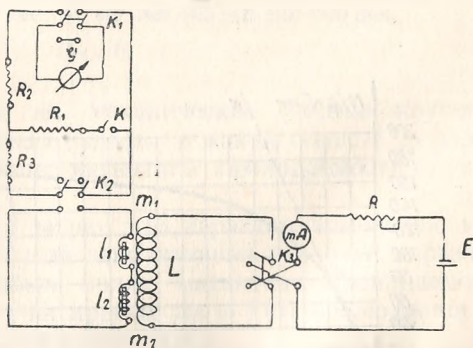
Чтобы устранить влияние самих зажимов 2, 3 (рис. 1) и остальных деталей установки, последние были изготовлены из ферромагнитных материалов (латунь, бронза). Электрическая схема дана на рис. 2.

Для уменьшения чувствительности баллистического гальванометра была применена схема шунта, состоящая из определенным образом подобранных сопротивлений  $R_1, R_2, R_3$ , удовлетворяющих следующим требованиям:

1. Чувствительность гальванометра могла быть уменьшена в  $n$  раз.

2. Сопротивление, на которое был замкнут гальванометр, независимо от степени шунтирования оставалось равным сопротивлению до его шунтирования.

3. Общее сопротивление гальванометра и шунта оставалось равным сопротивлению гальванометра до его шунтирования.



Электрическая схема II

Рис. 2.

нием магнитной проницаемости от угла закручивания, т. е.  $\Delta\mu = f(\varphi)$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

На рис. 3, 5 показана зависимость изменения магнитной проницаемости от угла закручивания  $\varphi$  соответственно для образцов из технически чистого никеля и армко-железа.

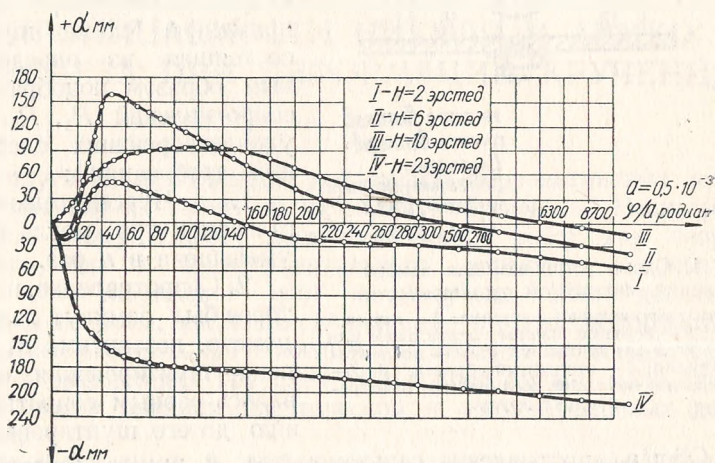


Рис. 3.

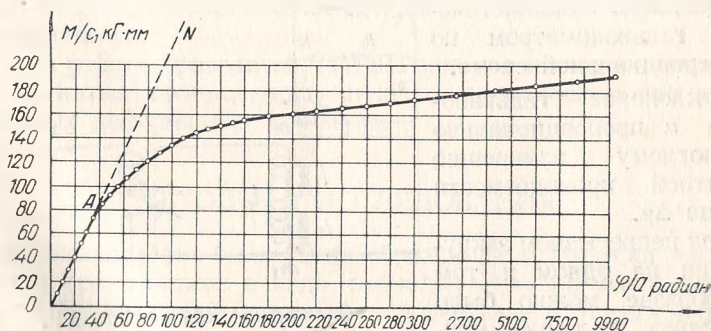


Рис. 4.



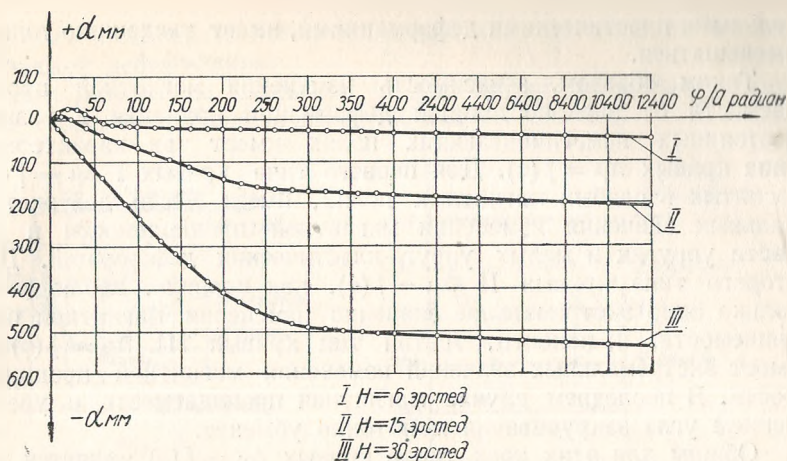


Рис. 5.

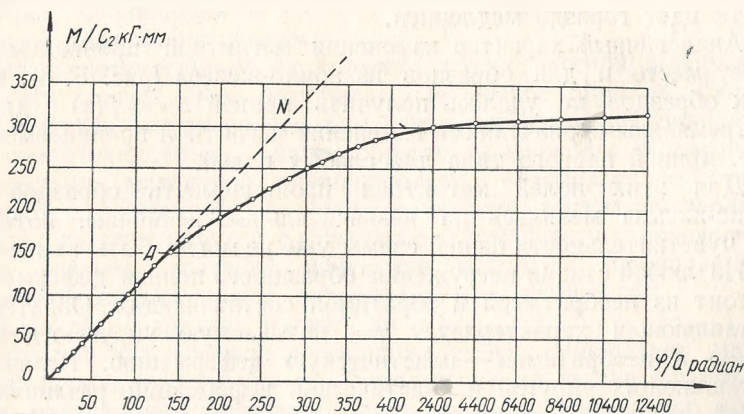


Рис. 6.

На рис. 4, 6 даются их механические кривые кручения  $M = f(\varphi)$ , по которым можно судить, в какой области деформации соответствуют изменения магнитной проницаемости — упругой или пластической.

Из этих кривых рис. 3 видно, что характер изменения магнитной проницаемости от угла закручивания различен в разных магнитных полях. В слабых полях магнитная проницаемость изменяется монотонно и на кривых  $\Delta\mu = f(\varphi)$  наблюдается от одного до двух экстремальных значений.

С увеличением поля характер изменения магнитной проницаемости упрощается. Для полей  $H = 23$  эрстеда и больших магнитная проницаемость, начиная с упругих и кончая значи-

тельными пластическими деформациями, имеет тенденцию только уменьшаться.

Таким образом, зависимость изменения магнитной проницаемости от знакопостоянной деформации кручения в разных постоянных намагничивающих полях имеет три характерных типа кривых  $\Delta\mu = f(\varphi)$ . Для первого типа кривых I  $\Delta\mu = f(\varphi)$ , заснятых в слабых магнитных полях, имеет место два экстремальных значения изменения магнитной проницаемости в области упругих и малых упруго-пластических деформаций. Для второго типа кривых II  $\Delta\mu = f(\varphi)$ , как правило, наблюдается только одно экстремальное значение изменения магнитной проницаемости, и, наконец, третий тип кривых III  $\Delta\mu = f(\varphi)$  не имеет экстремальных значений изменения магнитной проницаемости. В последнем случае магнитная проницаемость с увеличением угла закручивания монотонно убывает.

Общим для этих трех типов кривых  $\Delta\mu = f(\varphi)$  является то, что для начальных упругих деформаций идет быстрое изменение магнитной проницаемости, в то время как для значительных пластических деформаций изменение магнитной проницаемости идет гораздо медленней.

Аналогичный характер изменения магнитной проницаемости имеет место и для образцов из армко-железа (рис. 5, 6). Для этих образцов не удалось получить кривой  $\Delta\mu = f(\varphi)$  с двумя экстремальными значениями изменения магнитной проницаемости, т. е. кривой первого типа для слабых полей.

Для этих полей магнитная проницаемость образцов из армко-железа менялась на незначительные величины, которые при чувствительности нашей схемы уже не могли быть замечены.

На любой стадии нагружения образца его полная деформация состоит из необратимой и обратимой составляющих. Обратимая составляющая характеризует так называемую упругую деформацию и необратимая — пластическую деформацию. Величины составляющих упругой и пластической деформаций различны на любой стадии нагружения образца. Для начального участка кривой  $M = f(\varphi)$  (рис. 4, 6) величины пластической деформации очень малы по сравнению с упругой деформацией и увеличиваются при дальнейшем нагружении образца. Поэтому можно говорить, что полная деформация образца на любой его стадии нагружения представляет собой сумму пластической и упругой деформаций

$$\varphi_{\text{пол.}} = \varphi_{\text{пл.}} + \varphi_{\text{упр.}}$$

Приведенные результаты на рис. 3, 5 дают зависимость магнитной проницаемости от величины суммарной деформации. Для случая средних намагничивающих полей ( $H = 23$  эрстеда — никелевых образцов,  $H = 30$  эрстед — образцов из армко-железа) изменение магнитной проницаемости разложено на величины,

обусловленные соответственно составляющими упругой и пластической деформациями.

Эти результаты показаны на рис. 7 для никелевых образцов и рис. 8 — образцов из армо-железа.

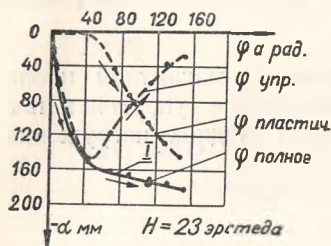


Рис. 7.

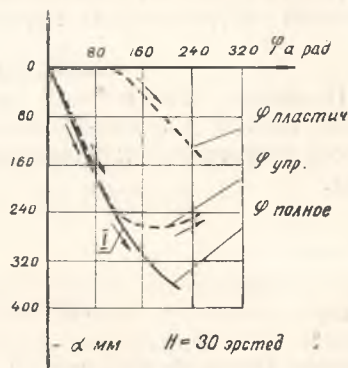


Рис. 8.

Сплошные кривые дают зависимость изменения магнитной проницаемости от полной деформации, а пунктирные соответственно от упругой и пластической деформаций.

Эти кривые были получены следующим образом. Образец нагружался, и замерялось изменение магнитной проницаемости, соответствующее  $\varphi_{\text{пол.}}$ , затем образец разгружался, и замерялось изменение магнитной проницаемости, обусловленное пластической деформацией. Величина изменения магнитной проницаемости за счет упругой составляющей деформации определялась как разность значений изменения магнитной проницаемости, измеренных для полной деформации и пластической.

Из рассмотрения кривых  $\Delta\mu = f(\varphi_{\text{пл.}})$  и  $\Delta\mu = f(\varphi_{\text{упр.}})$  следует, что пластическая деформация только уменьшает магнитную проницаемость образца. Упругая же на стадии нагружения, где превалирует последняя, ведет к резкому понижению магнитной проницаемости, а на той стадии нагружения, где, наряду с упругими, появляются заметные пластические деформации, наоборот, ведет к увеличению магнитной проницаемости.

Из хода кривых  $\Delta\mu = f(\varphi_{\text{упр.}})$  и  $\Delta\mu = f(\varphi_{\text{пл.}})$  и объясняется падение магнитной проницаемости в средних магнитных полях от суммарного угла закручивания, так как убывание магнитной проницаемости, обусловленное пластической деформацией, преобладает над ее возрастанием за счет упругих деформаций.

## ВЫВОДЫ

1. Характер изменения магнитной проницаемости при деформации кручения не зависит от знака продольной магнитоэластики ферромагнитного материала.

2. Магнитная проницаемость никеля и армко-железа по-разному меняется в слабых и средних намагничивающих полях. Такое различие, по-видимому, объясняется разными процессами намагничивания в этих полях.

3. Выяснен характер изменения магнитной проницаемости для никеля от деформации кручения в виде трех типов кривых

$$\Delta\mu = f(\varphi).$$

4. Показано, как влияют на изменение магнитной проницаемости никеля и армко-железа составляющие упругой и пластической деформаций кручения на разных стадиях нагружения образца.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Forrer [Journ. de phys., сер. VI, 7 (1926), стр. 109].
2. H. Krüznery, Arch. f. Elektrot 12 (1923), стр. 234—248.
3. R. Cazaud, Rev. Gén. de l'électric 21 (1927), стр. 895—900.
4. F. Preisach, Annalen d. Physik 3 (1929), стр. 737—799.
5. Белов К. П., ЖЭТФ, 9,685 (1939).
6. Вонсовский С. В. и Шур Я. С., Ферромагнетизм, ОГИЗ, Гостехиздат, Технико-теоретической литературы. М.-Л. (1948)