

С 36

A-643

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

350/2-72

2/II-72

P9 - 6075



А.И. Анацкий, Н.А. Бурцева, Ю.П. Вахрушин,  
И.М. Матора, К.Д. Мартянова

МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ПЕРМАЛЛОЯ 50НП  
ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ПЛАВКИ  
ПРИ ИМПУЛЬСНОМ ПЕРЕМАГНИЧИВАНИИ

ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ

1971

P9 - 6075

А.И. Анацкий, Н.А. Бурцева, Ю.П. Вахрушин,  
И.М. Матора, К.Д. Мартынова

МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ПЕРМАЛЛОЯ 50НП  
ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ПЛАВКИ  
ПРИ ИМПУЛЬСНОМ ПЕРЕМАГНИЧИВАНИИ

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

Работы; проводимые по улучшению магнитных свойств сплавов с 50% никеля путем получения материала весьма высокой чистоты, подтверждают возможность выпуска текстурованного железоникелевого сплава типа 50НП с улучшенными свойствами: индукцией насыщения до 1,57 тл в полях 640-800 а/м, коэрцитивной силой  $\approx 6,4 \pm 8$  а/м и максимальным коэффициентом прямоугольности петли перемагничивания 0,98 /1/.

В связи с использованием сплава 50НП в действующем ускорителе /2/ и возможностью использования этого сплава с улучшенными свойствами в разрабатываемом мощном линейном индукционном ускорителе ЛИУ-30 /3/ представляет интерес исследование его магнитных свойств при импульсном перемагничивании в режиме линейного индукционного ускорителя.

Изучение магнитных свойств пермаллоев в импульсных и переменных полях наиболее удобно проводить на тороидальных (кольцевых) сердечниках. Однако при этом имеет место влияние геометрии сердечника на его статические и динамические характеристики /4,5,6/. В /4/ показано, что влияние отношения наружного радиуса сердечника к внутреннему

$$\alpha = \frac{R_{\text{н}}}{R_{\text{вн}}}$$

на форму предельной петли гистерезиса усиливается с увеличением прямоугольности петли гистерезиса материала. Установлено также, что для

пермаллоевых сердечников влияние геометрии становится заметным при значениях  $\alpha > 1,4$ . В другой работе устанавливается минимальное соотношение между радиальной шириной образца и средним радиусом сердечника, при котором не требуется вводить поправки в петлю гистерезиса.

В случае, если

$$\frac{R_H - R_{BH}}{R_{CP}} \leq 0,11,$$

погрешность, зависящая от геометрии сердечника, не превосходит 1%/6/.

Для испытания пермаллоя 50НП были изготовлены сердечники из ленты шириной 10 и 15 мм с наружным диаметром 190 мм и внутренним - 168 мм, для которых отношения

$$\frac{R_H}{R_{BH}} = 1,13$$

$$\frac{R_H - R_{BH}}{R_{CP}} = 0,12.$$

Таким образом, можно считать, что полученные результаты действительны не только для сердечников, но и для самого материала. Испытано три сердечника из ленты сплава 50НП лучевой плавки (93 л) размером  $0,01 \times 10 \text{ мм}^2$ , отожженных без применения магнитного поля; три сердечника из ленты сплава 50НП лучевой плавки (93 л) размером  $0,01 \times 10 \text{ мм}^2$ , но отожженных в магнитном поле переменного тока напряженностью 640 а/м и три сердечника из ленты сплава 50НП обычной плавки размером  $0,01 \times 15 \text{ мм}^2$ .

Исследования импульсного перемагничивания производились с помощью специального генератора прямоугольных импульсов напряжения с длительностью фронта на уровне  $0,05 \pm 0,95$  амплитуды - 0,15 мксек со стабильностью площадки импульса не хуже 5%. При этом длительность тока намагничивания составляла 0,5 мксек. Выходное сопротивление генератора - 1 ом. Перед подачей перемагничивающего импульса на сердечниках подавался импульс обратной полярности длительностью около 10 мсек, что обеспечивало возможность получения максимального приращения индукции. Амплитуда "размагничивающего" импульса определялась по зависимости  $B = f(H)$ , снятой на переменном токе частотой 50 гц. В процессе

исследований измерялись значения максимального в течение импульса намагничивающего тока в зависимости от амплитуды импульса напряжения, которая менялась от нуля до максимального значения. Эти измерения дали возможность получить зависимость  $\Delta B = f(H)$  при переменной скорости изменения приращения индукции в сердечнике ( $\frac{dB}{dt} = \text{var}$ ) с помощью соотношений:

$$\Delta B = \frac{U_m \left( \tau - \frac{\tau \phi}{2} \right)}{w S_a},$$

$$H = \frac{I w}{l_{\text{ср}}}.$$

Здесь  $\Delta B$  - приращение индукции,  $U_m$  - амплитуда импульса напряжения,  $S_a$  - активное сечение сердечника,  $w$  - количество витков на сердечнике (в нашем случае  $w = 5$ ),  $\tau$  - длительность импульса,  $\tau \phi$  - длительность фронта импульса напряжения,  $H$  - напряженность магнитного поля,  $I$  - ток в обмотке,  $l_{\text{ср}}$  - средняя длина сердечника.

При максимальном значении амплитуды импульса напряжения измерялись значения тока и напряжения в ряде точек, расположенных через выбранные интервалы времени. По этим измерениям определялась зависимость  $\Delta B = f(H)$  при постоянной скорости изменения приращения индукции ( $\frac{dB}{dt} = \text{const}$ ) с помощью соотношений:

$$\Delta B = \frac{u t}{2 w S_a} \quad \text{для фронта}$$

и

$$\Delta B = \frac{U_m}{w S_a} \left( t - \frac{\tau \phi}{2} \right)$$

для плоской части импульса, где  $u$  - значение напряжения в заданной точке, а  $t$  - время от начала импульса до данной точки.

Для того чтобы облегчить анализ полученных результатов и иметь возможность сопоставить свойства пермаллоев, были сняты кривые перемагничивания на переменном токе частотой 50 гц, а также кривые зависимости индукции от напряженности магнитного поля. Перемагничивание сердечников на частоте 50 гц производилось с помощью установки У-542.

На рис. 1 приведены кривые перемагничивания сердечников при напряженности поля 200 а/м, из которых видно, что пермаллой 50НП обычной плавки имеет более широкую петлю по сравнению с пермаллом лучевой плавки (соответственно 26,5 и 17,2 а/м) и меньшее значение максимальной индукции. Кривые перемагничивания сердечников из пермаллоя лучевой плавки, отожженных в магнитном поле и без него, практически совпадают.

Коэффициент прямоугольности петли значительно больше для пермаллоя лучевой плавки и составляет 0,975. На рис. 2 даны максимальные значения индукции в зависимости от поля. Максимальные значения индукции при напряженности намагничивающего поля 600 а/м и частоте 50 гц равны: для пермаллоя обычной плавки 1,4 тл, для пермаллоя лучевой плавки - 1,5 тл.

Магнитные характеристики сердечников на частоте 50 гц из ленты лучевой плавки, отожженных в магнитном поле, несколько лучше характеристик сердечников, отожженных без магнитного поля.

На рис. 3 приведены зависимости приращения индукции от напряженности поля в сердечнике при импульсном перемагничивании и построенные при  $\frac{dB}{dt} = \text{var}$ . Приращение индукции для всех сердечников изменяется практически линейно до полей порядка 250 а/м и равно для пермаллоя обычной плавки 1,7 тл, а лучевой плавки - 1,8 тл. В слабых полях при приращении индукции 0,5 тл напряженность поля для пермаллоя обычной плавки меньше  $\approx$  на 20%. В поле напряженностью 500 а/м приращение индукции для пермаллоя обычной плавки равно 2,1 тл, для лучевой плавки - 2,5 тл.

Аналогичное различие в свойствах пермаллоя обычной и лучевой плавки проявляется и на характеристиках  $\Delta B = f(H)$ , построенных при  $\frac{dB}{dt} = \text{const}$  (рис. 4).

Проведенные исследования показывают, что в динамическом режиме на частоте 50 гц пермаллой 50НП лучевой плавки имеет меньшую коэрцитивную силу, большую индукцию насыщения и значительно больший коэффициент прямоугольности петли по сравнению с пермаллом обычной плавки. В этом же режиме заметно улучшение магнитных свойств при проведении отжига ленты в магнитном поле.

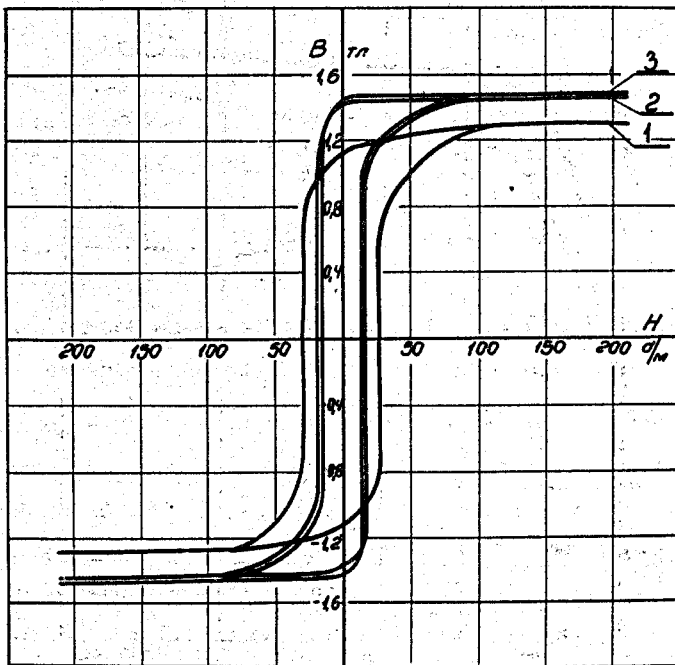


Рис. 1. Кривые перемагничивания сердечников: 1 - 50НП - обычной плавки; 2 - 50НП - электронно-лучевой плавки без магнитного отжига; 3 - 50НП - электронно-лучевой плавки с магнитным отжигом.

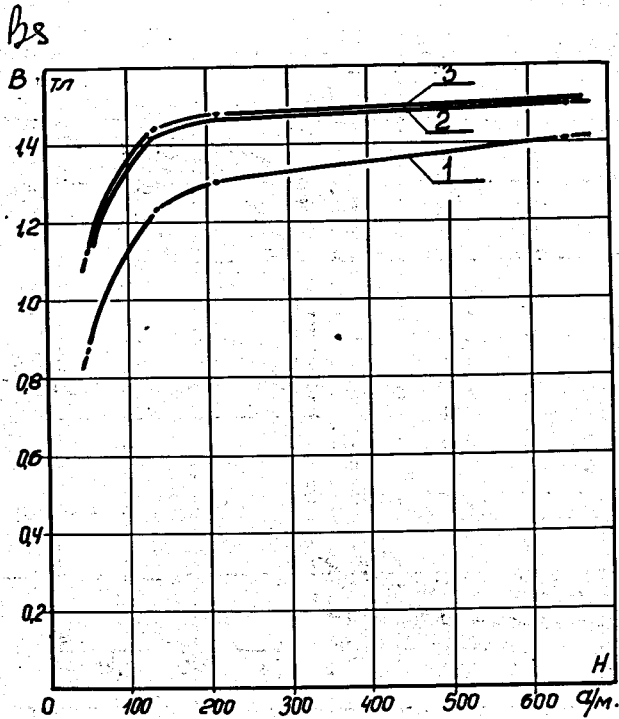


Рис. 2. Зависимости максимальных значений индукции от напряженности магнитного поля для сердечников: 1 - 50НП - обычной плавки; 2 - 50НП - электронно-лучевой плавки без магнитного отжига; 3 - 50НП - электронно-лучевой плавки с магнитным отжигом.



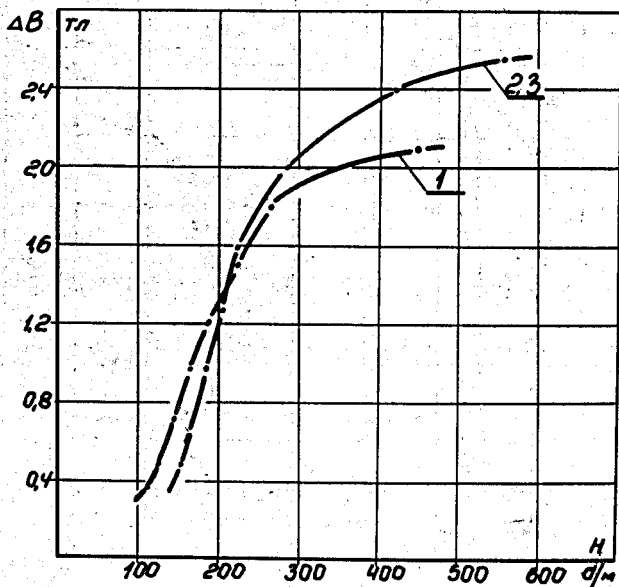


Рис. 3. Зависимости приращения индукции от напряженности поля в сердечниках при  $dB/dt = var$ . 1 - 50НП - обычной плавки; 2 - 50НП - электронно-лучевой плавки без магнитного отжига; 3 - 50НП - электронно-лучевой плавки с магнитным отжигом.

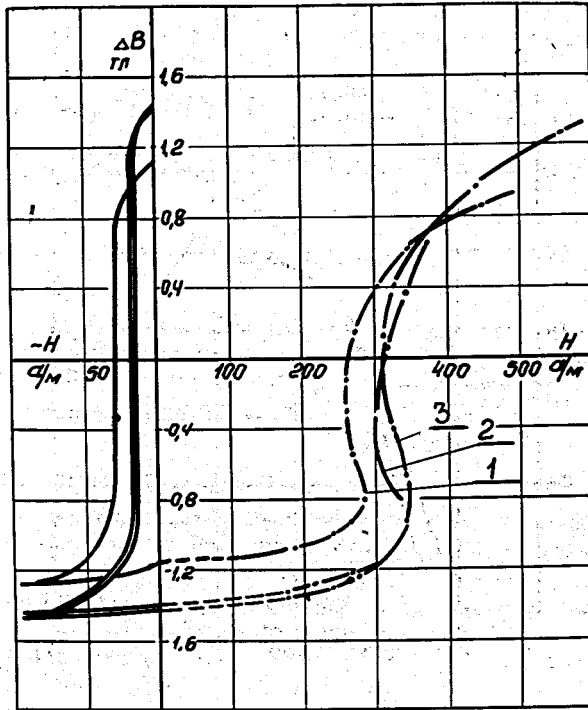


Рис. 4. Зависимости приращения индукции от напряженности поля в сердечниках при  $dB/dt = const$  1 - 50НП - обычной плавки; 2 - 50НП - электронно-лучевой плавки без магнитного отжига; 3 - 50НП - электронно-лучевой плавки с магнитным отжигом.

Проведенные исследования показывают, что в динамическом режиме на частоте 50 гц пермаллой 50НП лучевой плавки имеет меньшую коэрцитивную силу, большую индукцию насыщения и значительно больший коэффициент прямоугольности петли по сравнению с пермаллом обычной плавки. В этом же режиме заметно улучшение магнитных свойств при проведении отжига ленты в магнитном поле.

При импульсном намагничивании магнитный отжиг сердечников не дает заметных результатов. В слабых импульсных полях (200 а/м) пермаллой лучевой плавки по сравнению с обычным имеет меньшее приращение индукции, а в сильных (500 а/м) наоборот, большее: 2,5 тл против 2,1 тл.

#### Литература

1. Г.З. Клевцкая, К.Д. Мартянова. Разработка технологии производства и исследование свойств текстурованного сплава типа 50НП. Сб. Магнитные цифровые элементы. М. Наука 1968 г., стр. 226.
2. А.И. Анацкий и др. Линейный индукционный ускоритель. Атомная энергия, том. 21, вып. 6, 1966.
3. В.Д. Ананьев, Д.И. Блохинцев и др. Препринт ОИЯИ 13-4392, 1969.
4. М.А. Розенблат. Зависимость статических характеристик тороидальных сердечников от их геометрических размеров. "Автоматика и телемеханика". Изд. АН СССР, 1958 г., № 8, стр. 788.
5. R.W. Roberts, R.I. Van Nice. Influence of ID/OD Ratio on Static and Dynamic Magnetic Properties of Toroidal Cores. Trans. AIEE, vol 74, pt. 1.
6. Н.В. Студенцов. Выбор размеров кольцевых образцов при испытаниях ферромагнитных материалов. "Измерительная техника". Издательство стандартов, 1967, №6, стр. 83.

Рукопись поступила в издательский отдел  
18 ноября 1971 года.