

Для иллюстрации на рисунке для протонов, проникающих в алюминий, показано сравнение расчетов (штриховая линия 1 соответствует формуле Блоха, линия 2 — для  $\gamma_B$ , линия 3 — для  $\gamma_T$ ) с экспериментальными данными [8] (сплошная линия). Для более тяжелых заряженных частиц и ионов расхождение увеличиваются с ростом  $Z_1$  или  $Z_2$ , что можно объяснить прежде всего весьма приближенным определением параметра вырождения  $\gamma$ .

Автор благодарит Н. Ф. Нелипу за обсуждение результатов работы и глубоко признателен Н. Н. Казаковой и Н. В. Орловой за проведение расчетов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бете Г. А., Ашкин Ю. Экспериментальная ядерная физика, под ред. Э. Сегре, т. 1, ч. 2. М., ИЛ, 1955.
2. Bloch F. Ann. d. Phys., Fol. 5, 16, 285, 1933.
3. Bloch F. Zs. f. Phys., 81, 363, 1933.
4. Бор Н. Прохождение атомных частиц через вещество. М., ИЛ, 1950.
5. Томпсон М. Дефекты и радиационные повреждения в металлах. М., «Мир», 1971.
6. Lensen H. Zs. f. Phys., 106, 620, 1937.
7. Lindhard J., Scharff M. Phys. Rev., 124, 128, 1961.
8. Whaling W., Handb. d. Phys., 34, 193, 1958.

Поступила в редакцию  
12.1 1972 г.

НИИЯФ

УДК 621.318.13

О. С. ГАЛКИНА, Л. В. ЛАЗАРЕВА

## МАГНИТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКОГО ТВЕРДОГО СПЛАВА ВК-3М ПРИ ГЕЛИЕВЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

В последние годы металлокерамические твердые сплавы системы карбид вольфрама—кобальт (сплавы типа ВК) помимо распространения в различных областях техники находят все более широкое применение при проведении физических исследований. Главным образом они используются в различных системах, служащих для создания высоких давлений. Только используя сплавы типа ВК для изготовления «наковален Бриджмена» [1], удалось провести различные экспериментальные исследования при давлениях вплоть до 250 кбар в широком диапазоне температур, включая гелиевые (например, [2—7]).

Сплав ВК-3М применяется нами для изготовления наковален в «бомбах» высокого давления, работающих при низких температурах.

Однако все сведения о физических свойствах самих сплавов системы карбид вольфрама — кобальт ограничиваются областью температур от комнатных и выше.

Магнитные характеристики этих сплавов измерены лишь в полях до 5 кэ, т. е. в полях, далеких от полей насыщения [8, 9].

В то же время изучение гальваномагнитных эффектов в «бомбах» высокого давления и интерпретация полученных результатов невозможны без учета магнитных характеристик «наковален», объем которых примерно в миллион раз превышает объем образцов. Средний объем наковален в наших «бомбах» 2 см<sup>3</sup>. Размеры образцов 500·50·20 мк

$$\frac{V_{\text{наковален}}}{V_{\text{образца}}} \sim 5 \cdot 10^6.$$

В настоящей работе приводятся результаты экспериментальных исследований магнитных характеристик сплава ВК-3М при 4,2° К в полях до 45 кэ.

Выбор именно сплава ВК-3М для изготовления наковален продиктован следующими причинами.

Сплав ВК-3М обладает наибольшей твердостью (91 ед. по Роквеллу) из всех сплавов этого типа, выпускаемых промышленностью.

Поскольку магнитные характеристики сплава ВК связаны в основном с содержанием чистого кобальта (чем больше кобальта, тем больше величина намагничен-

ности насыщения), то сплав ВК-3М, содержащий лишь 3% (по весу) кобальта, является одним из самых «слабомагнитных» сплавов этого типа.

Цилиндрические образцы с отношением длины к диаметру, равным 5, вырезались нами на алмазных кругах из двух различных партий сплава ВК-3М, изготовленного во Всесоюзном научно-исследовательском и проектном институте тугоплавких металлов и сплавов (ВНИИТС). Измерения проводились баллистическим методом. В качестве чувствительного элемента использовался микровеберметр с фотоэлектриче-

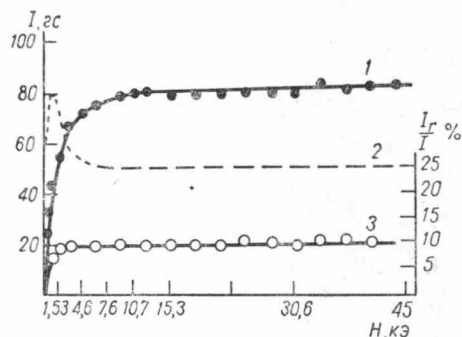


Рис. 1. Кривая намагнитченности сплава ВК-3М ( $I$ ), зависимость величины остаточной намагнитченности от внешнего поля ( $2$ ) и соотношение между остаточной намагнитченностью и намагнитченностью в данном поле ( $3$ )

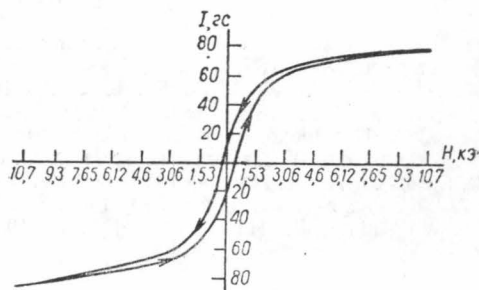


Рис. 2. Петля гистерезиса сплава ВК-3М

ским усилителем типа Ф-18. Измерительная установка предварительно градуировалась по эталонному образцу чистого никеля с намагнитченностью насыщения при  $4,2^\circ\text{K}$ , равной  $508\text{ гс}$ . Образцы предварительно размагничивались переменным полем. Магнитное поле создавалось сверхпроводящим соленоидом. Точность измерения намагнитченности  $\pm 2\text{ гс}$ .

На рис. 1 приведена кривая намагнитченности ( $I$ ) в полях до  $45\text{ кэ}$ . Быстрый рост намагнитченности происходит в полях до  $1,5\text{ кэ}$ . Образцы намагнитчиваются до насыщения в полях  $12\text{ кэ}$ . Величина намагнитченности насыщения  $80 \pm 2\text{ гс}$ .

Расшифровывая экспериментальные результаты при измерениях в бомбах, необходимо знать зависимость величины остаточной намагнитченности материала «наковален» от внешнего поля (или от величины намагнитченности, соответствующей этому полю).

На рис. 1 показана зависимость величины остаточной намагнитченности от внешнего поля (кривая 2). Остаточная намагнитченность резко возрастает в слабых полях. Начиная с полей  $1,5\text{ кэ}$   $I_r$  практически не меняется с полем, достигая значения  $I_{r\text{max}} \approx 20\text{ гс}$ . На кривой 3

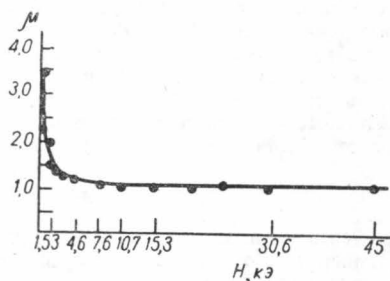


Рис. 3. Зависимость магнитной проницаемости от внешнего поля

приведено процентное отношение остаточной намагнитченности к намагнитченности в данном поле. В полях, превышающих поле насыщения, остаточная намагнитченность составляет примерно 25% от намагнитченности насыщения.

На рис. 2 приведена петля гистерезиса, типичная для образцов ВК-3М.

Для укрупнения масштаба и выделения характерных особенностей в области слабых полей на рис. 2 приведены данные только для полей  $11\text{ кэ}$ . ВК-3М при  $T = 4,2^\circ\text{K}$  является ферромагнетиком с узкой петлей гистерезиса. Значения коэрцитивной силы, полученные для образцов из различных партий материала, 336 и 339 эрст.

Работая с ферромагнитными матрицами, необходимо знать величину индукции в материале. Ее удобно определять, зная величину магнитной проницаемости в данном поле.

На рис. 3 приведен график зависимости магнитной проницаемости сплава ВК-3М от величины внешнего поля. Уже в полях порядка  $1,5\text{ кэ}$   $\mu$  падает более чем в два раза по сравнению с величиной в поле  $150\text{ эрст}$ .

При существующих соотношениях объемов образца и наковален ферромагнитные наковальни в «бомбе», ось которой расположена вдоль поля соленоида, будут работать как сердечник в обычном электромагните. Это сильно влияет на измеряемые гальваномагнитные эффекты, особенно в слабых полях, где величина индукции в системе будет примерно в четыре раза превышать величину внешнего поля.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Bridgman P. W. «Proc. Am. Acad. Arts Sci.», 71, 387, 1937.
2. Wittig J. J. Phys., 105, 215, 1966.
3. Берман И. В., Брандт Н. Б., Гинзбург Н. И. ЖЭТФ, 53, 124, 1967.
4. Брандт Н. Б., Берман И. В. Письма в ЖЭТФ, 7, 198, 1968.
5. Берман И. В., Брандт Н. Б. Письма в ЖЭТФ, 7, 412, 1968.
6. Берман И. В., Брандт Н. Б. Письма в ЖЭТФ, 10, 88, 1969.
7. Брандт Н. Б., Гинзбург Н. И. «Успехи физических наук», 98, 95, 1969.
8. Туманов В. И. Свойства сплавов системы карбид вольфрама—кобальт. М., «Металлургия», 1971.
9. Сб. Твердые сплавы и тугоплавкие материалы (ВНИИТС), № 11, М., «Металлургия», 1971.

Поступила в редакцию  
22.2 1972 г.

Кафедра  
магнетизма

УДК 621.372.4

Д. Г. АФОНИН, Ю. В. ГОРОХОВ, В. И. КИТОРОВ, Ю. А. ПИРОГОВ

### О СИСТЕМАХ С ВОЗБУЖДЕНИЕМ ГРЕБЕНОК КВАЗИПЛОСКИМИ ВОЛНАМИ

В связи с созданием нового класса приборов, использующих взаимодействие электронного пучка с электромагнитным полем вблизи периодических структур, возбуждающихся квазиплоскими электромагнитными волнами в высокочастотных открытых резонаторах [1, 2], исследовались электродинамические характеристики систем взаимодействия таких устройств [3, 4], выгодно отличающихся от классических ЛЮВ и ЛБВ систем.

В данной работе приводятся некоторые результаты экспериментального исследования, полученные в двухмиллиметровом диапазоне длин волн для низкочастотных систем, состоящих из облучающей антенны типа рупор и плоского зеркала, частично или полностью заполненной периодической гребенчатой структурой. Проводится сравнение с высокочастотными открытыми резонаторами, также исследовавшимися авторами, в которых вместо облучающего рупора использовались сферические зеркала. Как в том, так и в другом случае при падении квазиплоской электромагнитной волны перпендикулярно к плоскости периодической структуры вблизи ее образуются пространственные гармоники.

Необходимость изучения низкочастотных систем с периодическими структурами вызвана тем, что в ряде случаев желательно иметь более широкополосные и менее критичные к юстировке и настройке устройства. При этом, как показывают оценки, проведенные в соответствии с результатами работ [3, 5], амплитуды поля пространственных гармоник вблизи гребенки, возбуждающейся излучающим рупором, могут быть меньше лишь на порядок, а все преимущества такого способа возбуждения [6] сохраняются.

Установка и методики измерений характеристик высокочастотных резонаторов с гребенчатой структурой на плоском зеркале подобны описанным ранее [7].

В связи с тем что спектры систем с рупорами оказались, как и спектры высокочастотных резонаторов, эквидистантными, для их описания использовался параметр

$$\alpha = \frac{2L}{\lambda} - q, \quad (1)$$

где  $L$  — расстояние между плоскостью раскрытия рупора и плоским зеркалом (в случае открытого резонатора  $L$  — расстояние между центрами зеркал);  $\lambda$  — длина волны;  $q$  — продольный индекс колебания.