

компоненты скорости через ноль и измерить профиль скорости в обратном течении (рис. 1, а).

Для измерения вектора скорости в течениях с отрывом пограничного слоя был применен двухкомпонентный датчик скорости, состоящий из двух механотронов, установленных во взаимно перпендикулярных плоскостях. Измерения, выполненные с помощью двухкомпонентного датчика, позволяют построить векторную диаграмму поля скорости в отрывном течении. Пример такой векторной диаграммы поля скорости за волновым профилем представлен на рис. 2. Двухкомпонентный датчик с чувствительными элементами в виде механотронов позволяет получить подробную картину кинематики воздушного потока в различных зонах отрывного течения.

Таким образом, приведенные результаты свидетельствуют о непригодности термоанемометрической методики для измерения поля скорости в отрывном течении. Вместе с тем полученные материалы говорят о перспективности применения анемометров с чувствительным элементом в виде механотрона для исследования структуры отрывных течений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фидман Б. А. О балансе энергии при отрывном турбулентном течении.— Изв. АН СССР, отд. техн. наук, 1958, № 8, с. 139—142.
2. Кречмер С. И. Методика измерений микропульсаций скорости ветра и температуры в атмосфере.— Тр. Геофиз. ин-та АН СССР, 1954, № 24, 151 с.
3. Хинце И. О. Турбулентность, ее механизм и теория. М., 1963, 680 с.
4. Берлин Г. С., Розентул С. А. Механотронные преобразователи и их применение. М., 1974, 239 с.
5. Анохин Ю. С. Измерение мгновенных значений скорости течения жидкости при помощи электронных ламп с механическим управлением.— Измерительная техника, 1965, № 8, с. 11—12.
6. Анохин Ю. С. Электронно-механический способ измерения скорости воздушных потоков.— Метеорология и гидрология, 1966, № 8, с. 14—19.

Поступила в редакцию
19.10.78

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ, 1981, т. 22, № 1

УДК 537.624:550.38

В. И. МАКСИМОЧКИН, В. И. ТРУХИН

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ОСТАТОЧНОЙ НАМАГНИЧЕННОСТИ ПРИРОДНЫХ МАГНЕТИТОВ ОТ ЧАСТОТЫ ПЕРЕМЕННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ

В магнетизме горных пород широкое распространение получили методы исследования, использующие переменное магнитное поле h с частотой $\nu=50$ Гц: создание идеальной остаточной намагниченности I_{Ti} [1, 2], магнитная чистка [3], изучение параметров стабильности и коэрцитивных спектров [4, 5], определение палеонапряженности [6] и т. д.

Интерпретация всех результатов по воздействию h на образцы горных пород делается в предположении, что в широком диапазоне низких частот (до 1 МГц) не существует частотной зависимости остаточных магнитных свойств, при этом физические и теоретические представления основаны на том, что изменения намагниченности в переменных полях низких частот происходят квазистатически.

Однако при исследованиях синтетических ферритов [7, 8, 9] было обнаружено, что как обратимая, так и необратимая части намагниченности существенно зависят от ν в области сравнительно низких частот (до 100 кГц). Для синтетического магнетита в работе [8] получено, что действительная часть комплексной проницаемости μ' на частоте 10^4 Гц уменьшается в 5 раз по сравнению с μ' на $\nu=10^2$ Гц, а мнимая часть μ'' на частоте $\nu=10^3$ Гц достигает максимума. Для стержней из NiZn-ферритов эффективность размагничивания нормальной остаточной намагниченности I_r резко снижается при $\nu=10^3$ Гц [9].

Эти и другие экспериментальные результаты, полученные на синтетических ферритах [7], а также теоретические соображения [5, 7] указывают на необходимость изучения влияния h различной частоты на природные ферриты, которые в основном составляют ферромагнитную фракцию горных пород.

Наиболее широко распространенным в природе магнитным минералом является магнетит и его различные модификации и твердые растворы [1]. Данная работа является первым опытом исследования процессов намагничивания и размагничивания естественных магнетитов в переменных магнитных полях различных частот от 50 до 10^5 Гц.

В работе изучались образцы магнетита с месторождения Абакан с размером зерна $d=5-10$ мкм (образец № 1) и с месторождения Шабры с размером зерна $d>1$ мм (образец № 2).

Магнетиты, как и другие магнитные минералы, содержащиеся в горных породах, характеризуются довольно большой коэрцитивной силой, поэтому для исследования магнитных свойств, особенно необратимых, необходимы магнитные поля большой напряженности. Создание таких переменных магнитных полей связано с определенными трудностями, так как с увеличением частоты растет не только индуктивное, но и активное сопротивление соленоида току высокой частоты. В связи с этим был рассчитан и изготовлен специальный соленоид с постоянной 400 Э/А. Расчет соленоида проведен аналогично расчету индуктивности катушек с высокой добротностью [10]. Для исключения индуктивного сопротивления последовательно соленоиду подключался магазин емкости. Полученный колебательный контур настраивался в резонанс путем изменения емкости при фиксированной частоте. Поле рассчитывалось по ЭДС, наводимой в измерительной катушке [11]. На частоте 70 кГц удалось получить поле с напряженностью $h=300$ Э.

Земное поле компенсировалось двумя парами колец Гельмгольца. Измерение намагниченности производилось на измерителе остаточной намагниченности типа рок-генератор [12]. Образцы имели форму кубиков с ребром 10 мм. Были проведены эксперименты двух видов: а) размагничивался образец, имеющий нормальную I_r , идеальную I_{ri} и естественную I_n остаточные намагниченности полями различных частот ν ; б) при различных ν создавалась идеальная намагниченность, а размагничивание велось на частоте поля, равной 50 Гц. Погрешности относительного измерения поля составляли 2%, намагниченности — 3%.

Результаты измерений. Результаты измерений представлены на рис. 1, 2, 3. Для всех изученных в работе видов остаточной намагниченности I_r , I_{ri} и I_n наблюдалось усиление эффекта размагничивания с увеличением частоты размагничивающего поля (рис. 1, кривые 2, 3, 5, 6), причем эта зависимость начинает проявляться с первых сотен герц. Обратная зависимость наблюдалась при размагничивании в поле h ($\nu=50$ Гц) образца с идеальной остаточной намагниченностью

$I_{ri}(0,05/\nu)$, которая создавалась под воздействием поля различной частоты (кривые 1, 4 на рис. 1; здесь и далее в скобках после значка I_{ri} в числителе стоит частота размагничивающего поля в килогерцах, в

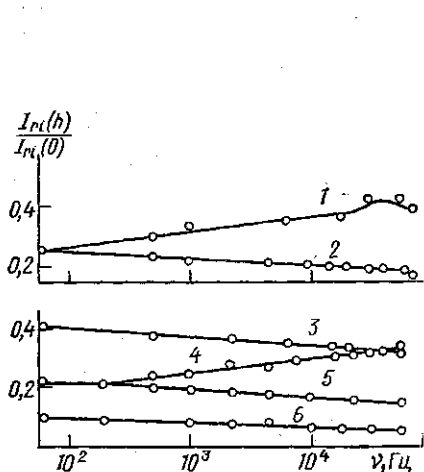


Рис. 1. Зависимость размагничивания образцов с различными видами намагниченностей от частоты магнитного поля. Образец № 2: 1 — $I_{ri}(0,05/\nu)$, 2 — $I_{ri}(\nu/0,05)$ при $h=150$ Э. Образец № 1: 3 — I_n , 4 — $I_{ri}(0,05/\nu)$, 5 — $I_{ri}(\nu/0,05)$, 6 — I_r ($H=200$ Э) при $h=100$ Э

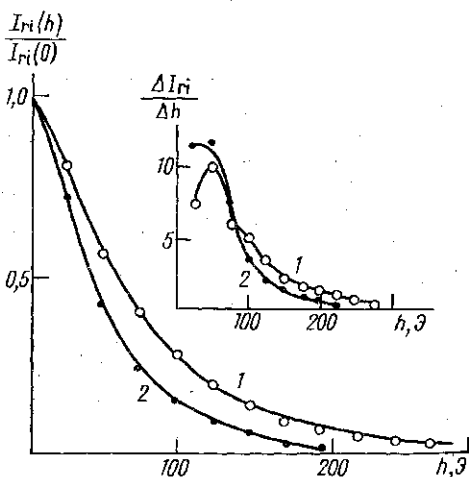


Рис. 2. Размагничивание I_{ri} и спектр коэрцитивных сил: 1 — $I_{ri}(0,05/61,5)$, 2 — $I_{ri}(61,5/0,05)$, образец № 1

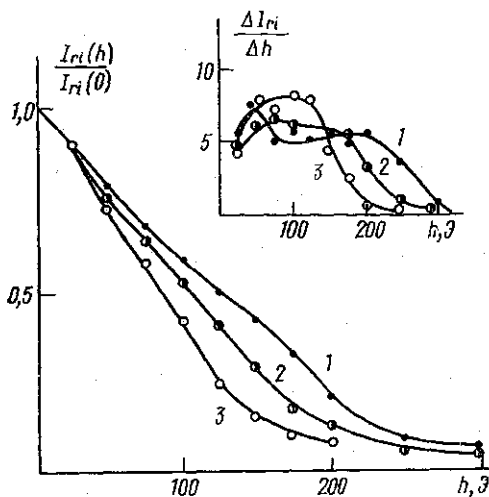


Рис. 3. Размагничивание I_{ri} и спектр коэрцитивных сил: 1 — $I_{ri}(0,05/77,5)$, 2 — $I_{ri}(0,05/0,05)$, 3 — $I_{ri}(77,5/0,05)$, образец № 2

знаменателе — частота переменного поля, при которой создавалась идеальная намагниченность). Чем выше частота поля, создающего идеальную намагниченность $I_{ri}(0,05/\nu)$, тем хуже размагничивается образец при частоте $\nu=50$ Гц. Характер зависимости интенсивности размагничивания I_{ri} от частоты размагничивающего поля примерно одинаков для образцов № 1 (кривая 5) и № 2 (кривая 2). Кривые размагничивания $I_{ri}(0,05/\nu)$, $I_{ri}(\nu/0,05)$ и $I_{ri}(0,05/0,05)$, а также спектр коэрцитивных сил, рассчитанный из этих кривых, для мелкозернистого (образец № 1, рис. 2) и крупнозернистого (образец № 2, рис. 3) магнетитов различаются. Особенно хорошо это видно на коэрцитивных спектрах $\Delta I_{ri}/\Delta h = f(h)$. Если для образца № 1 (рис. 2) для $I_{ri}(61,5/0,05)$ при размагничивании в поле с частотой 61,5 кГц (кривая 2) и для $I_{ri}(0,05/61,5)$ при размагничивании

в поле с частотой 50 Гц (кривая 1) наблюдаются незначительные различия, то для образца № 2 (рис. 3) при увеличении частоты поля, в котором создавалась идеальная намагниченность, наблюдается су-

шествное уширение спектра в сторону больших коэрцитивных сил при размагничивании в поле с частотой 50 Гц. Различие в ширине спектра намагниченностей $I_{ri}(0,05/77,5)$ и $I_{ri}(77,5/0,05)$ составляет $\Delta h = 100 \text{ Э}$.

Таким образом, проведенные измерения показали, что существует определенная зависимость остаточных магнитных свойств природных магнетитов от частоты переменного магнитного поля.

Обсуждение результатов и выводы. Обычно спад μ' и появление максимума μ'' с увеличением частоты объясняется релаксационными процессами. Полученные результаты, вероятно, можно объяснить релаксацией, обусловленной магнитным последствием, с растянутым спектром частот [5, 7]. Сдвиг спектра коэрцитивных сил идеальной остаточной намагниченности $I_{ri}(0,05/\nu)$ (рис. 3, б, кривая 1), образованной при больших частотах, в область больших полей можно объяснить тем, что при $\nu < \nu_m$, где ν_m — одна из частот релаксации, стабилизирующий барьер движется синхронно с границей, при $\nu > \nu_m$ граница будет двигаться уже относительно этого барьера и, если амплитуда поля достаточно велика, преодолеет барьер. Это будет обуславливать сдвиг спектра коэрцитивных сил в область больших полей при размагничивании в более низких частотах. Этот же механизм, по-видимому, обуславливает разницу в кривых размагничивания полями разных частот образца с идеальной намагниченностью $I_{ri}(\nu/0,05)$ (рис. 3, кривые 2, 3; рис. 2, кривая 2; рис. 1, кривые 2, 5). Если это объяснение полученных эффектов справедливо, то можно сделать вывод о том, что в спектре коэрцитивных сил исследованных магнетитов большую роль играют энергетические барьеры, обусловленные процессами диффузионного магнитного последствия с различными временами релаксации.

В заключение следует отметить, что уже первые измерения, выполненные на природных магнетитах, показали зависимость степени размагничивания для I_{ri} от частоты размагничивающего поля, а также влияние частоты поля на коэрцитивные спектры. В дальнейших исследованиях необходимо изучить температурный ход частотной зависимости остаточных магнитных свойств различных магнитных минералов с разнообразными структурно-чувствительными параметрами.

Детальное изучение влияния переменных полей различной частоты на остаточные магнитные свойства углубит наши знания о механизме возникновения энергетических барьеров в природных магнитных минералах и тем самым даст возможность шире использовать магнитные свойства горных пород для решения геофизических задач.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нагата Т. Магнетизм горных пород. М., 1965, 345 с. 2. Петрова Г. Н., Рыбак Р. С.—В кн.: Магнетизм горных пород и палеомагнетизм. Красноярск, 1963, с. 457—481. 3. Храмов А. Н.—В кн.: Настоящее и прошлое магнитного поля Земли. М., 1965, с. 197—203. 4. Андреева О. Л., Буха В. В., Петрова Г. Н.—В кн.: Настоящее и прошлое магнитного поля Земли. М., 1965, с. 275—279. 5. Трухин В. И. Введение в магнетизм горных пород. М., 1973, 274 с. 6. Петрова Г. Н., Багина О. Л. О безнаправленном методе определения напряженности древнего геомагнитного поля.—Изв. АН СССР. Физика Земли, 1976, № 4, с. 54—62. 7. Крупичка С. Физика ферритов и родственных им магнитных оксидов. М., 1976, т. 2, 504 с. 8. Galt J. K. Magnetic relaxation in Fe_3O_4 .—Phys. Rev., 1952, 85, p. 664—666. 9. Ершов Р. Е., Волгина З. М. Физические и физико-химические свойства ферритов. М., 1975, с. 91—93. 10. Волгов В. А. Детали и узлы радиоэлектронной аппаратуры. М., 1977, 654 с. 11. Чечерников В. И. Магнитные измерения. М., 1969, 386 с. 12. Бураков К. С. Термомагнитометр.—Изв. АН СССР: Физика Земли, 1977, № 5, с. 92—96.