

с 349.1

В-191

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

З - 3565

Б.В. Васильев

ВОЗДЕЙСТВИЕ НЕЙТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ
НА НЕКОТОРЫЕ МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА
ПЕРМАЛЛОЯ

Автореферат диссертации, представленной на соискание
ученой степени кандидата физико-математических наук

Научный руководитель
академик

И.К. КИКОИН

Дубна 1967

Б.В. Васильев

ВОЗДЕЙСТВИЕ НЕЙТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ
НА НЕКОТОРЫЕ МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА
ПЕРМАЛЛОЯ

Аннотация диссертации, представленной на соискание
ученой степени кандидата физико-математических наук

Научный руководитель
академик

И.К. КИКОИН



4932 sp.

Исследование воздействия ядерного излучения на свойства металлов и сплавов является актуальной задачей современной физики твердого тела. Интерес к этой проблеме, с одной стороны, вызван развитием реакторостроения, необходимостью углубления знаний о поведении конструктивных материалов, подвергающихся воздействию интенсивных потоков излучения. С другой стороны, ядерное излучение является мощным средством исследования твердого тела.

Проникающее излучение создает в кристалле различного сорта дефекты, изменяющие его структурно-чувствительные свойства. Особенно важным достоинством при этом является возможность дозировать вносимые нарушения кристаллической структуры. Из всех видов излучения наиболее сильное влияние на свойства твердого тела, в большинстве случаев, оказывает нейтронная бомбардировка.

Реферлируемая диссертация посвящена исследованию воздействия нейтронного облучения на коэрцитивную силу и эффект Баркгаузена в молибденовом пермаллоев. Выбор молибденового пермаллоя материалом для исследований обусловлен тем, что его малая коэрцитивная сила позволяет обнаруживать небольшие абсолютные изменения, связанные с воздействием относительно малых потоков нейтронов. Низкие значения констант аннотронии и магнитострикции молибденового пермаллоя дают возможность при соблюдении некоторых предосторожностей исключить из рассмотрения эффекты, связанные с наличием внутренних напряжений. Недостатком молибденового пермаллоя в данном случае является вероятность некоторого разупорядочивания во время облучения и активированность под действием нейтронов.

Некоторое внимание в диссертации уделено описанию попытки обнаружить воздействие нейтронного облучения на явление ядерного ферромагнитного резонанса в никеле.

Диссертация написана на основании результатов исследований, выполненных в 1963-1966 г.г. в Институте атомной энергии им. И.В. Курчатова.

Диссертация состоит из 6 глав.

В первой главе приведен краткий обзор исследований, касающихся воздействия нейтронного облучения на магнитные свойства железо-никелевых сплавов, близких по составу к молибденовому пермаллою. В большинстве опубликованных работ нейтронное облучение заметно изменяло магнитные характеристики при дозах порядка 10^{17} нейтр./см² в том случае, когда облучение производилось при температурах образцов выше 100°C. Результатом последующего отжига являлся обычно монотонный возврат магнитных характеристик к тем значениям, которыми обладали образцы до облучения.

Одна из экспериментальных кривых, приведенных в работе Шиндлера и др.^{1/}, указывает на то, что облучение железо-никелевого сплава потоком порядка 10^{18} нейтр./см², производимое при низкой температуре, вообще не влияет на магнитные характеристики. Последующий отжиг привел к изменению коэрцитивной силы, как бы проявив "скрытое изображение".

Проведение эксперимента с подобными условиями явилось первым шагом наших исследований.

Во второй главе описан метод приготовления образцов и автоматический вибрационный магнетометр, с помощью которого производились измерения магнитных характеристик образцов, а также даны некоторые экспериментальные результаты.

Во время приготовления образцов и проведения измерений особое внимание обращалось на защищенность образцов от механических и неконтролируемых температурных воздействий. После отжига образцов при температуре 1200° в течение 2 часов в атмосфере водорода их коэрцитивная сила равнялась примерно 70 мэ. Облучение производилось различными нейтронными потоками от $6 \cdot 10^{16}$ до $2,9 \cdot 10^{17}$ нейтр./см² при температуре, близкой к 30°C.

Измерения коэрцитивной силы производились при комнатной температуре с помощью вибрационного магнетометра, подобного описанному Фонером^{2/}. Разработанное устройство автоматической компенсации и регистрации сигнала позволяло весьма точно и оперативно вести непрерывную запись петель гистерезиса измеряемых образцов.

Результаты измерений магнитных характеристик молибденового пермаллоя: индукция насыщения (530 гс/см^3), температура Кюри (379°C) и константа анизотропии ($1,7 \cdot 10^3 \text{ эрг/см}^3$) согласуются с табличными данными. Измерения показали, что коэрцитивная сила образцов после облучения остается неизменной с точностью до десятка процентов.

Изохронный отжиг облученных образцов, производившийся в течение 1 часа, приводил к увеличению коэрцитивной силы, начинавшемуся при температуре $100 - 150^\circ\text{C}$ (рис. 1). Максимальное значение коэрцитивной силы (до 200% от начальной величины) достигалось при температурах $250 - 300^\circ\text{C}$. При температурах $450 - 500^\circ$ происходил полный отжиг эффектов облучения.

В главе III обсуждается один из механизмов, способных объяснить полученные экспериментальные результаты. На основании имеющихся литературных данных^{/3/} показано, что основным сортом дефектов, образующихся под действием нейтронного облучения в материалах типа молибденового пермаллоя, являются точечные дефекты типа пар Френкеля, не влияющие на магнитные свойства. Процессы коагуляции и коалесценции точечных дефектов, происходившие при отжиге^{/4/}, приводят к росту дефектов до размеров, соизмеримых с толщиной междоменных границ.

По модели Керстена - Нееля^{/5/} проведены оценки прироста коэрцитивной силы, получающегося за счет взаимодействия междоменных границ с образующимися в результате отжига дефектами, размеры которых несколько меньше толщины междоменной границы. Показано, что прирост коэрцитивной силы в этом случае $\Delta H_k \propto \alpha^{2/3} \rho^3$. Здесь α, ρ - относительный объем и линейный размер дефектов, соответственно. Для случая крупных дефектов, вокруг которых образуется вторичная доменная структура, по модели Деринга получена зависимость $\Delta H'_k \propto 1/\rho$.

Проведенные измерения намагниченности насыщения, константы анизотропии, температуры и константы Кюри позволили провести полуколичественные оценки максимального прироста коэрцитивной силы, получающегося за счет отжига радиационных дефектов, образованных нейтронным потоком порядка 10^{17} нейтр/см². Получено удовлетворительное согласие с экспериментом.

Зависимость $\Delta H^{\text{max}} \propto \alpha^{2/3}$ при предположении, что α пропорционально дозе облучения D , хорошо объясняет обнаруженную экспериментально зависимость $\Delta H^{\text{max}} \propto D^{2/3}$, показанную на рис. 2.

Экспериментально обнаружено, что коэрцитивная сила претерпевает основные изменения примерно в течение первых 10–20 минут отжига (рис. 3), это время согласуется с оценками длительности процесса коалесценции.

Четвертая глава посвящена описанию результатов экспериментального измерения спектров импульсов Баркгаузена в облученном молибденовом пермаллое, предпринятому с целью исследовать индивидуальные акты взаимодействия междоменных границ с радиационными дефектами. В этой главе описана экспериментальная установка, позволяющая регистрировать распределения импульсов Баркгаузена по величинам скачков намагниченности ΔM в зависимости от величины приложенного магнитного поля. Кратко обсуждены влияния тепловых шумов и случайных помех на получаемые спектры. Описаны предварительные исследования распределения импульсов Баркгаузена по длительностям и влияния скорости изменения внешнего поля на эффект Баркгаузена. Проведен анализ соответствия спектра импульсов Баркгаузена спектру немагнитных дефектов материала.

Обнаружено изменение количества импульсов Баркгаузена в процессе отжига облученных образцов (рис. 4). При этом максимальное количество импульсов всех величин наблюдается после отжига при 250–350°C, т.е. в том диапазоне температур, где обнаружен максимум коэрцитивной силы. При температуре 450–500°C эффекты облучения полностью отжигались. Экспериментальную зависимость количества импульсов Баркгаузена N от их величины ΔM , измеренную после отжига при различных температурах (рис. 5), приблизительно можно описать формулой

$$N \propto \left(\frac{1}{\Delta M} \right)^2 .$$

При исследовании зависимости полного числа импульсов Баркгаузена, приходящихся на единичный интервал поля, от его величины, кроме характерной температурной зависимости, обнаружено появление минимума счета вблизи нуля поля (рис. 6), который может быть объяснен влиянием междоменных границ на процесс коагуляции точечных дефектов.

Пятая глава диссертации посвящена исследованиям больших скачков намагниченности, появление которых было обнаружено в ходе измерений магнитных свойств облученных образцов молибденового пермаллоя (рис. 7). Средняя

величина таких скачков изменялась при отжиге, достигая в максимуме величины порядка 10^{-2} гаусс после отжига при температуре 250–300°C (рис. 8). Показано, что большие скачки намагниченности можно считать аномально большими скачками Баркгаузена.

В шестой главе дано краткое описание попытки обнаружить воздействие нейтронного облучения на явление ядерного резонанса на ядрах Ni^{61} . Описаны методика приготовления образцов и экспериментальная установка, с помощью которых в никеле с естественной концентрацией Ni^{61} были получены спектры ЯМР с отношением сигнала к шуму примерно равным 20. Проведенные оценки величины сигнала ЯМР в порошкообразном и монокристаллическом образцах никеля согласуются с экспериментальными результатами. Измерен коэффициент асимметрии сигнала ЯМР в зависимости от величины радиочастотного поля. Воздействие облучения привело к изменению величины сигнала ЯМР на 8% и изменению коэффициента асимметрии, лежащему в пределах экспериментальной ошибки.

В ы в о д ы

Разработаны методика приготовления тонких проволочных образцов, защищенных от механических повреждений, автоматический вибрационный магнетометр для измерения их статических магнитных характеристик, а также установка для исследования спектров импульсов Баркгаузена. Измерения показали, что облучение нейтронным потоком 10^{17} нейтрон/см², производимое при температуре, близкой к 30°C, почти не изменяет магнитных характеристик образцов молибденового пермаллоя и не влияет на их спектры импульсов Баркгаузена. Отжиг облученных образцов в диапазоне температур от 250 до 300°C приводил к значительному (до 200%) увеличению коэрцитивной силы и подобному изменению спектра импульсов Баркгаузена. При этом изменение коэрцитивной силы происходило примерно за 10–20 минут отжига при данной температуре, а максимальный прирост коэрцитивной силы был пропорционален дозе облучения в степени 2/3. Термическая обработка при более высоких температурах вела к полному отжигу эффектов радиации. Отжиг облученных образцов приводил также к изменению вида петли гистерезиса – появлению больших скачков намагниченности.

Предложенное объяснение полученных экспериментальных результатов исходит из предположения о том, что нейтронное облучение создает внутри образцов, в основном, точечные дефекты, не влияющие на их магнитные свойства. Последующий отжиг приводит к коагуляции и коалесценции точечных дефектов, укрупняя их до размеров, сравнимых с толщиной междоменной границы, как бы проявляя "скрытое изображение".

Результаты полуколичественных расчетов коэрцитивной силы, проведенных по такой схеме, удовлетворительно согласуются с экспериментом.

Основные результаты исследований изложены в работах /6-9/.

Л и т е р а т у р а

1. Schindler A. J., Kernochan R. H., Weertman J., J. Appl. Phys., 135, 2640. 1964.
2. Foner S., Rev. Sci. Instr. 30, 548, 1959.
3. Ван-Бюрен, Х.Г. Дефекты в кристаллах, ИИЛ, 1962.
4. И.М. Лившиц, В.В. Слезов. ЖЭТФ, 35, 2, 479 (1958).
5. L. Neel Cahiers. Phys., N 25, 21, 1944.
Имеется перевод в сб. "Физика ферромагнитных областей", ИИЛ, 1951.
6. Б.В. Васильев, А.П. Горелов. Письма в редакцию ЖЭТФ, 4, 413 (1966).
7. Б.В. Васильев. Препринт ОИЯИ 3-3418, Дубна 1967.
8. Б.В. Васильев. ФММ, 24, вып. 4 (1967).
9. Б.В. Васильев. Препринт ОИЯИ 3-3436, Дубна 1967.

Рукопись поступила в издательский отдел
25 октября 1967 г.

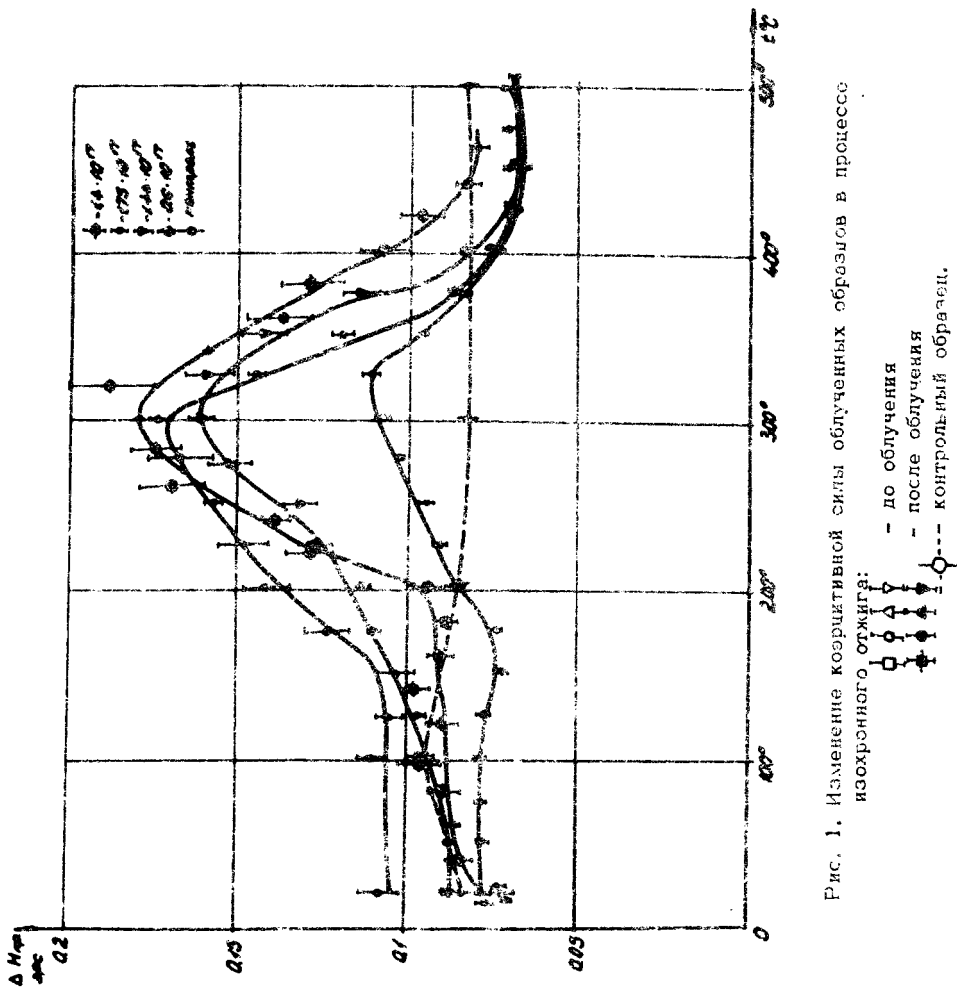


Рис. 1. Изменение коэрицивной силы облученных образцов в процессе изохронного отжига:

- до облучения
- - после облучения
- — контрольный образец

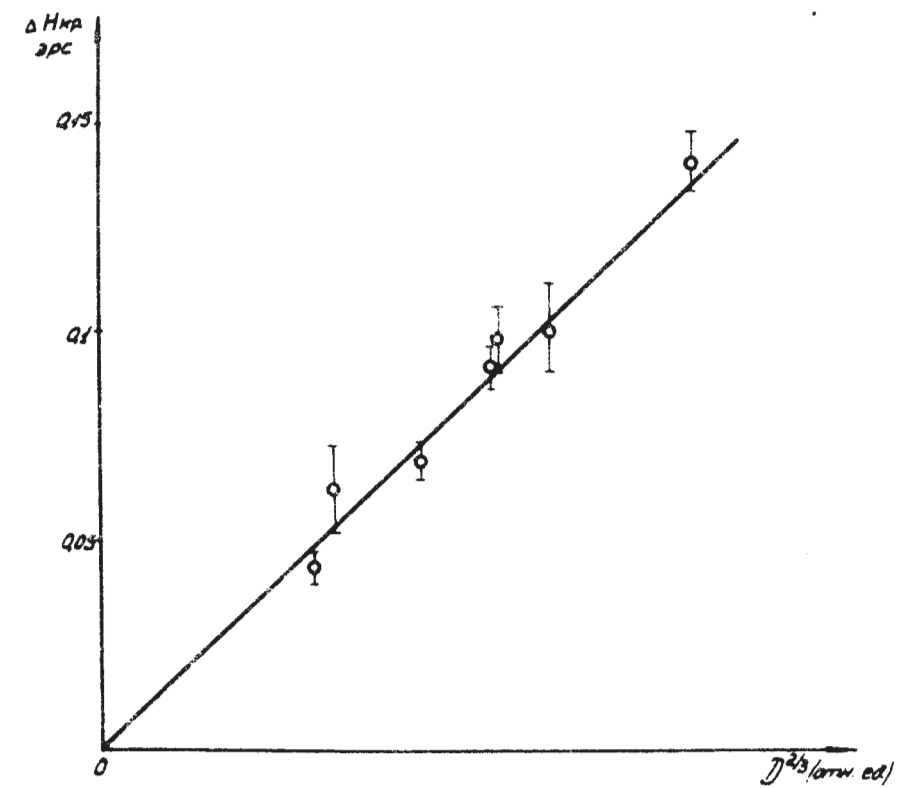


Рис. 2.

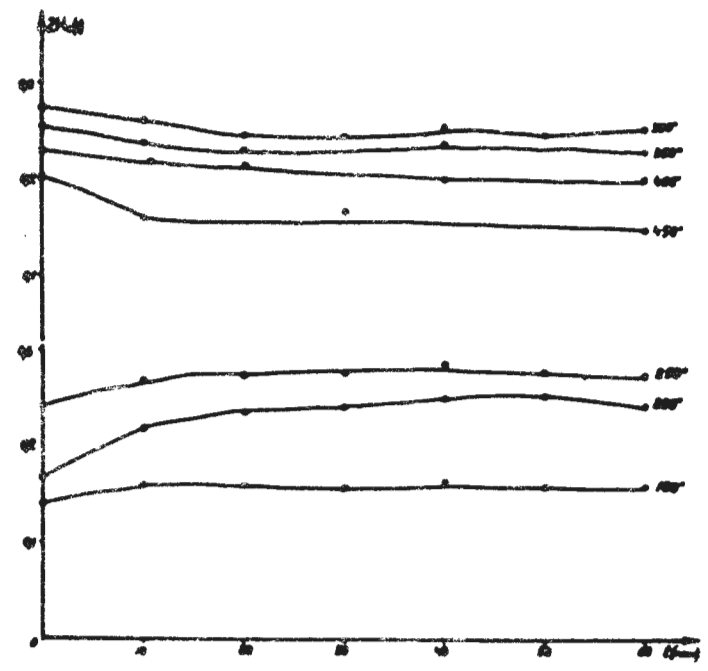


Рис. 3.

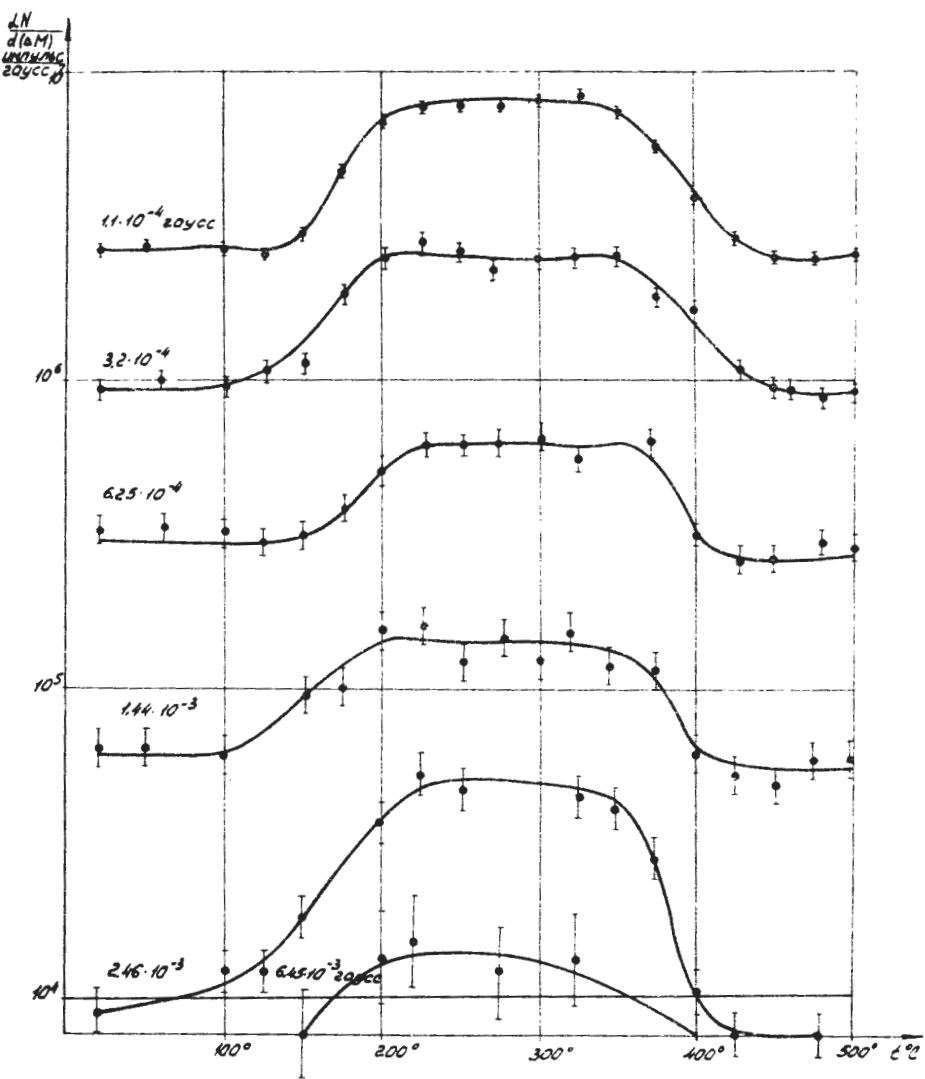


Рис. 4.

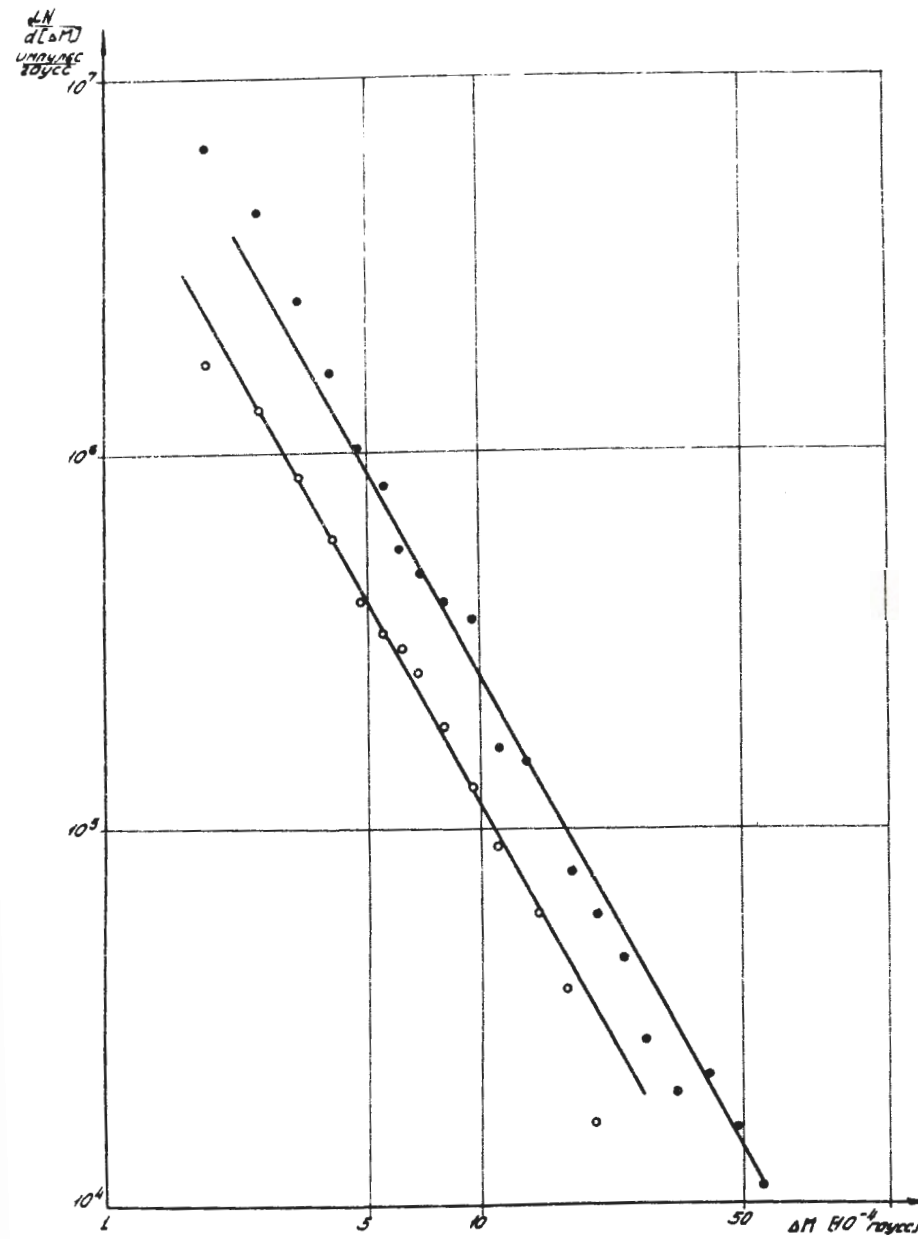


Рис. 5. ● - отжиг облученных образцов при 275°C
○ - отжиг облученных образцов при 500°C

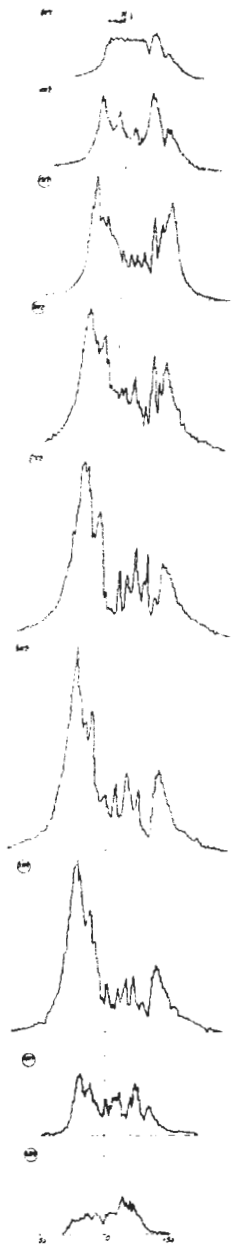


Рис. 6. Зависимость полного числа импульсов Баркгаузена облученных образцов от внешнего поля после отжига при различных температурах.

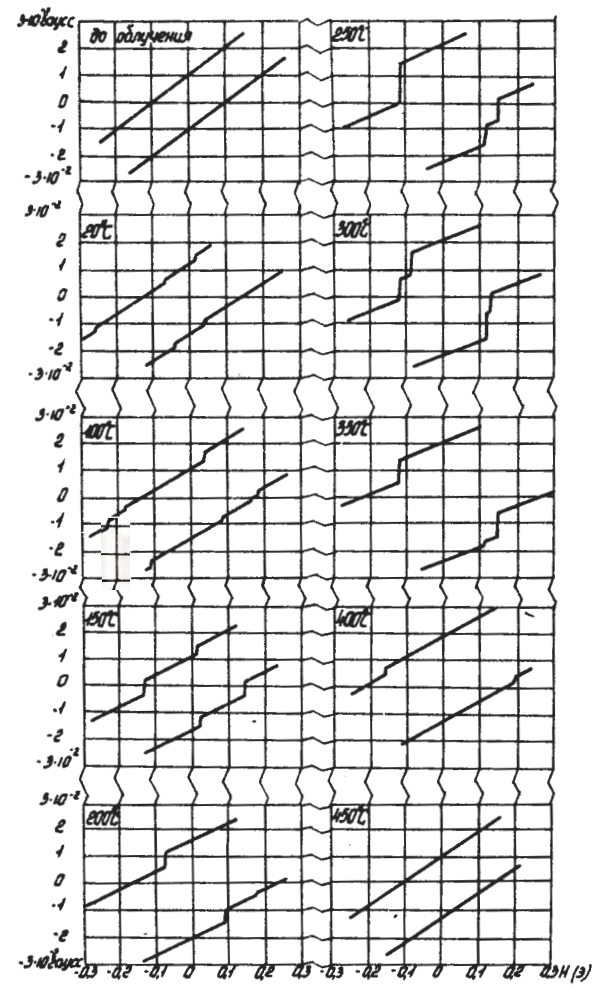


Рис. 7. Форма центрального участка петли гистерезиса облученного образца после отжига при различных температурах.

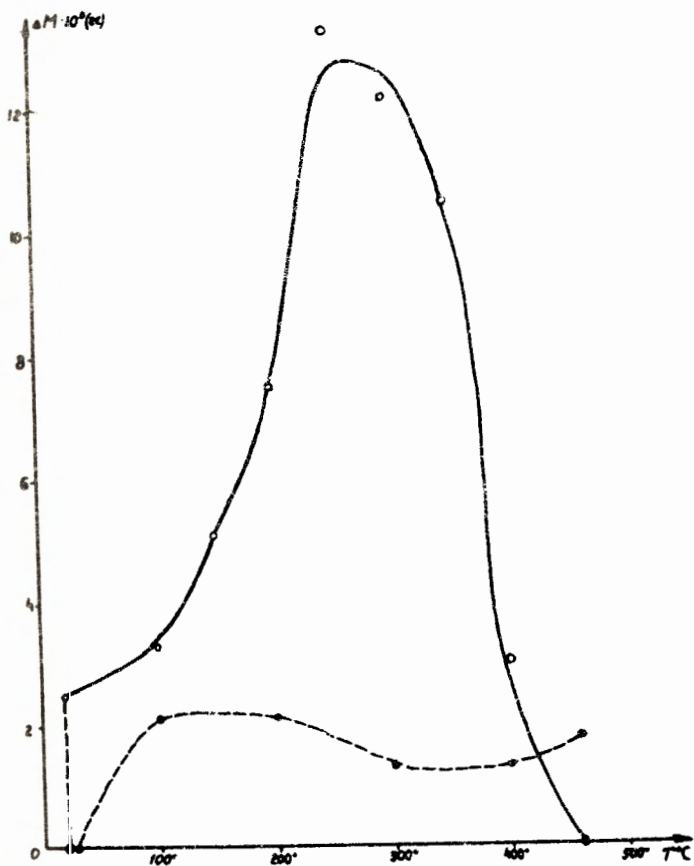


Рис. 8.