

## ПОЛУЧЕНИЕ ИМПУЛЬСНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НАПРЯЖЕННОСТЬЮ $3 \text{ Мэ}$ ПРИ РАЗРЯДЕ КОНДЕНСАТОРНОЙ БАТАРЕИ

*А.М. Андрианов, В.Ф. Демичев, Г.А. Елисеев, П.А. Левит*

Получение магнитных полей напряженностью свыше миллиона эрстед даже на очень короткое время представляет значительные экспериментальные трудности. Наибольшая напряженность магнитного поля зарегистрирована в экспериментах по магнитной кумуляции [1, 2]. При разряде конденсаторной батареи через соленоид получено поле напряженностью до  $2,5 \text{ Мэ}$  [3, 4]. Предельная величина поля в соленоиде зависит от скорости роста тока, от формы и свойств материала соленоида.

Цель экспериментов, некоторые результаты которых излагаются в настоящей работе, заключалась в выборе материала соленоида, способного наилучшим образом противостоять импульсным нагрузкам и обеспечивающего получение поля максимальной напряженности.

Источником тока в наших экспериментах служила батарея импульсных конденсаторов с запасаемой энергией  $25 \text{ кдж}$ . Ток разряда имел форму затухающей синусоиды с декрементом  $1 \cdot 10^5 \text{ сек}^{-1}$ . Время первого полупериода тока составляло  $5,7 \text{ мксек}$ , а максимальная амплитуда  $1,5 \text{ Ма}$ .

Эксперименты проводились с одновитковыми соленоидами из различных материалов. Внутренний диаметр соленоидов составлял 2,1 мм, а его длина 2,5 мм. Соленоиды крепились в массивной стальной обойме, которая соединялась с токоведущими шинами конденсаторной батареи.

Измерение напряженности поля производилось магнитным зондом, представлявшим собой 4-витковую катушку диаметром 1,1 мм. Зонд помещался во втулку из фторопласта и пропитывался касторовым маслом. Калибровка зонда производилась в однородном поле известной напряженности. Даже в полях 2 + 3 Мэ зонды не разрушались и их можно было использовать повторно.

В каждом эксперименте одновременно регистрировались осциллограммы тока через соленоид, напряженности магнитного поля и его производной. При обработке осциллограмм производилось также графическое интегрирование сигналов производной поля.

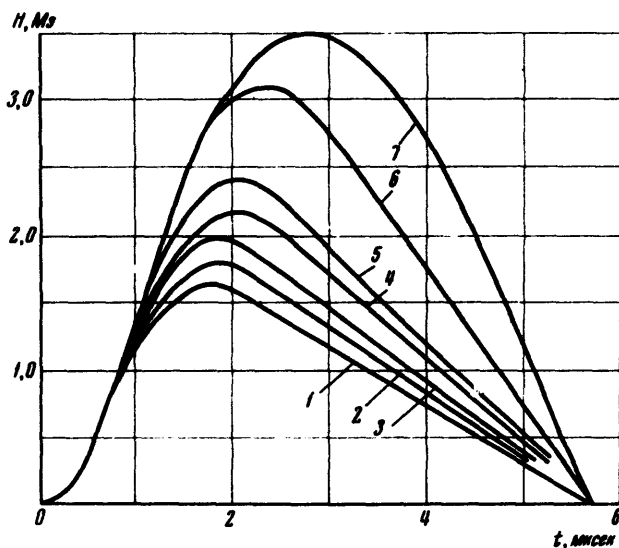


Рис. 1. Изменение напряженности магнитного поля во времени в соленоидах из различных материалов: 1 – алюминий и дюраль, 2 – титан, 3 – медь и сталь – 3, 4 – молибден, 5 – медно-вольфрамовая композиция АВМ, 6 – тантал, 7 – расчетная кривая для идеализированного неразрушающегося соленоида

Результаты измерений напряженности поля в соленоидах из некоторых испытанных материалов приведены на рис.1. Отставание роста напряженности поля от роста тока объясняется увеличением эффективных размеров токового слоя. Скорость изменения размеров токового слоя зависит от физических и механических свойств материала соленоида. В частности, чем больше плотность материала соленоида, тем выше предельная амплитуда поля. Это говорит о существенном влиянии инерционной стойкости материала на величину максимального магнитного поля. Механическая прочность материала при полях 2 + 3 Мэ, когда давление магнитного поля достигает 160 + 360 тыс. атм, не оказывает существенного влияния на скорость расширения внутренней по-

лости соленоида, а , следовательно, и на величину максимального поля. Механическая прочность при таких полях влияет лишь на конечный размер внутреннего отверстия в соленоиде. Характер разрушения свидетельствует об интенсивном пластическом течении материала соленоидов (рис. 2 ). Некоторые материалы (например, молибден ) кроме того подвержены и хрупкому разрушению.

Абсолютные величины напряженности магнитного поля, полученные в наших экспериментах, не являются предельными для испытанных материалов. Зарегистрированные значения магнитных полей ( от 1,6 Мэ для алюминия до 3,1 Мэ для тантала) могут быть увеличены не только дальнейшим подъемом скорости роста тока, но и за счет изменения формы и размеров соленоида. В частности, повысить

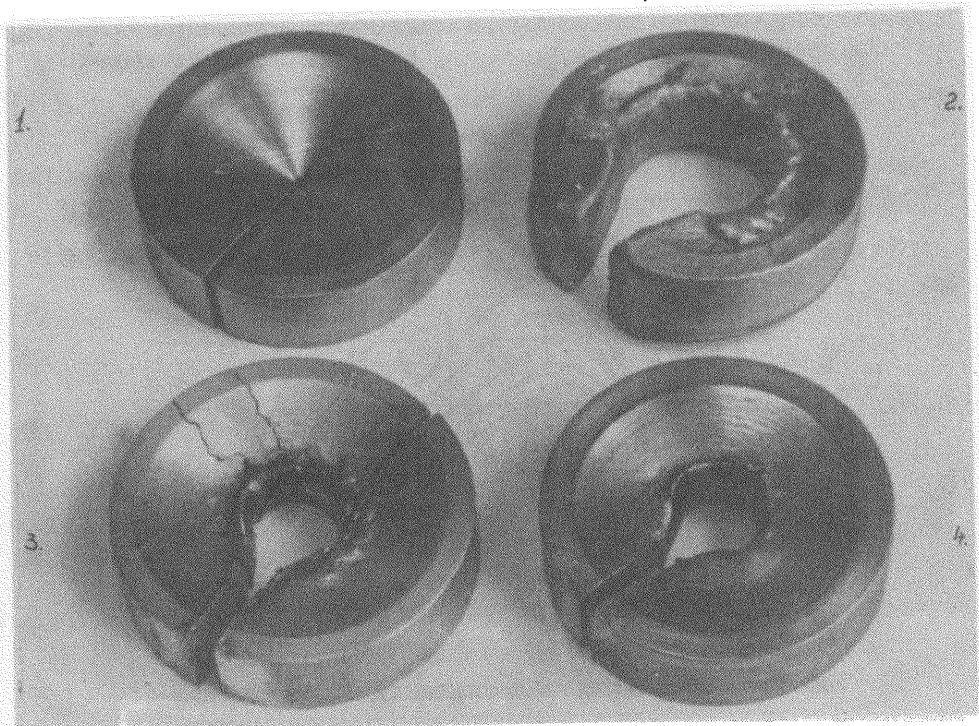


Рис. 2. Фотографии соленоидов: 1 – исходный, 2 – медный, после получения поля 2,0 Мэ, 3 – молибденовый, после получения поля 2,2 Мэ, 4 – танталовый, после получения поля 3,1 Мэ

предельное поле в соленоиде любой формы можно за счет увеличения его размеров при сохранении неизменным отношения длины к диаметру. Увеличение объема поля потребует, естественно, и большей энергоемкости источника тока.

Анализ полученных результатов показывает, что из испытанных материалов наиболее перспективным для получения сверхсильных полей является тантал. Он обладает оптимальным сочетанием свойств: высокой температурой плавления, большой плотностью, хорошими прочностными характеристиками. В условиях наших экспериментов в танталовом соленоиде амплитуда магнитного поля была в полтора раза выше, чем в аналогичном медном.

Высокая стойкость тантала и его преимущества перед другими испытанными материалами были подтверждены также в экспериментах по получению сильных импульсных полей в соленоидах многократного действия. Поле 1,0 Мэ в танталовом соленоиде с внутренним диаметром 5 мм и длиной 5 мм воспроизводимо

получалось десятки раз. Поле напряженностью 500 кэ в соленоиде большего объема можно было получать воспроизводимым образом тысячи раз.

Использование импульсных соленоидов из материалов типа тантала расширяет возможности проведения различных исследований в полях мегагаусного диапазона без разрушения объектов исследования.

Поступила в редакцию  
14 мая 1970 г.

#### Литература

- [1] А.Д.Сахаров и др. ДАН СССР, 165, 65, 1965.
  - [2] С.М.Fowler et al., J.Appl. Phys., 31, 588, 1960.
  - [3] D.W.Forster, J.C.Martin. Actes du colloque international sur Les Champs Magnetiques Intenses, p. 361, 1967, Paris.
  - [4] J.Shearer. Actes du colloque international sur Les Champs Magnetiques Intenses, p. 355, 1967. Paris.
-