

ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА

Ф.Ф. МЕНДЕ

*доктор техн. наук, директор
НИИ Криогенного приборостроения
Физико-технический институт низких температур
им Б.И. Веркина НАН Украины
Харьков, Украина
E-mail: mende_fedor@mail.ru*

ЭЛЕКТРИЗАЦИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОБРАЗЦОВ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ИХ ТЕМПЕРАТУРЫ ИЛИ МЕХАНИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЯХ

Существует большое количество диагностических методов исследования свойств материалов и образцов. Но от взгляда исследователей пока ускользнул перспективный метод, основанный на исследовании электростатического потенциала таких образцов. Этот метод заключается в том, что при нагревании или деформации металлических образцов на них возникает электрический потенциал. В работе проведено экспериментальное исследование этого метода и дано его теоретическое обоснование.

Ключевые слова: термодинамические потенциалы, электростатический потенциал, химический потенциал, электронный газ, кристаллическая решетка.

F.F. MENDE

*Doctor of Techn. Sciences, Director
Research institute for cryogenic instrument
engineering B.I. Verkin Institute for Low Temperature
Physics and Engineering NAS Ukraine
Kharkov, Ukraine
E-mail: mende_fedor@mail.ru*

ELECTRIZATION METAL SAMPLES WHEN CHANGING THEIR TEMPERATURE OR MECHANICAL DEFORMATIONS

Exists a large quantity of diagnostic methods of the study of the properties of materials and models. But from the view of researchers thus far slipped off the very promising method, based on a study of the electrostatic potential of such models. This method consists in the fact that with heating or deformation of metallic models on them the electric potential appears. In the work an experimental study of this method is carried out and its theoretical substantiation is given.

Key words: thermodynamic potentials, electrostatic potential, chemical potential, electron gas, crystal lattice.

1. Введение

Существует большое количество диагностических методов исследования свойств материалов и образцов. Но от взгляда исследователей пока ускользнул перспективный метод, основанный на исследовании электростатического потенциала таких образцов [1].

Большинство существующих диагностических методов контроля свойств и характеристик материалов и образцов основано на применении тех или иных внешних воздействий, которые

могут изменить свойства исследуемых объектов. Особый интерес представляют методы не разрушающего контроля, а также те методы, применение которых не требует воздействия на сами образцы. Исследование свойств материалов и образцов в зависимости от их температуры, давления, воздействия различного рода облучений, механических напряжений и динамика этих процессов, кинетика фазовых переходов представляет большой интерес. Рассмотрим метод, основанный на измерении электростатического потенциала образцов,

дающий возможность проводить такие исследования простым способом.

В литературных источниках, в которых обсуждается вопрос о возможной зависимости заряда от скорости, утверждается, что зависимость величины заряда от этого параметра привела бы при нагревании проводников к увеличению их отрицательного потенциала. Именно это утверждение постоянно приводится как аргумент того, что заряд не может зависеть от скорости.

Если в какой-либо структуре сосуществует несколько термодинамических подсистем, то их химические потенциалы должны быть равны. В проводнике имеется две подсистемы: решетка и электронный газ. Электронный газ в проводниках при обычных температурах является вырожденным и подчиняется статистике Ферми-Дирака, его химический потенциал определяется из соотношения

$$\mu = W_F \left(1 - \frac{\pi^2 (kT)^2}{12W_F^2} \right), \quad (1)$$

где

$$W_F = \frac{h^2}{2m} \left(\frac{3n}{8\pi} \right)^{\frac{2}{3}} - \quad (2)$$

есть энергия Ферми; h – постоянная Планка; а n и m – плотность электронов и их масса.

Из соотношений (1) и (2) видно, что химический потенциал электронного газа при понижении температуры увеличивается, достигая своего максимального значения при нулевой температуре. Он также зависит от плотности электронов.

В общем виде химический потенциал для какой-либо подсистемы может быть найден из следующих выражений

$$\mu = \left(\frac{\partial U}{\partial N} \right)_{S,V} = \left(\frac{\partial F}{\partial N} \right)_{T,V} = \left(\frac{\partial W}{\partial N} \right)_{S,P} = \left(\frac{\partial \Phi}{\partial N} \right)_{T,P},$$

где N – число частиц, а термодинамические потенциалы U , F , W , Φ представляют внутреннюю энергию, свободную энергию, энтальпию и потенциал Гиббса соответственно. Но, если найти химический потенциал решетки, пользуясь одним из этих соотношений, то будет видно, что с понижением температуры этот потенциал уменьшается. Таким образом, химический потенциал электронов при понижении температуры растет, а у решетки он уменьшается. Но как тогда добиться, чтобы они были равны? Выход заключается в том, что химический потенциал электронного газа зависит от плотности свободных электронов, и, чтобы этот потенциал при уменьшении температуры тоже уменьшался, должно при понижении температуры уменьшаться количество электронов. Это означает, что для сохранения электронейтральности при

охлаждении проводника от него должен быть обеспечен отток электронов, а при нагревании обеспечен их приток. Если этого не сделать, то при нагревании на образце будет появляться положительный потенциал, а при охлаждении отрицательный.

Для экспериментального подтверждения такого поведения проводников следует подключить к исследуемому образцу электромметр с очень большим внутренним сопротивлением и начать образец охлаждать. При этом электромметр должен зарегистрировать появление на образце отрицательного потенциала. Особенно сильная зависимость будет наблюдаться при низких температурах, когда теплоемкость электронного газа и решетки соизмеримы. Что же должно произойти при переходе образца в сверхпроводящее состояние? Во время перехода часть электронов начнет объединяться в куперовские пары и в районе энергии Ферми образуется энергетическая щель запрещенных состояний. Причем для оставшихся нормальных электронов это тоже будет запретная зона, поэтому для них останутся разрешенными только места выше верхнего края щели. Это приведет к тому, что свободных мест для оставшихся электронов не будет хватать, поэтому, в случае отсутствия оттока электронов из образца, он приобретет отрицательный потенциал.

Химический потенциал решетки зависит также от напряжений и количества дислокаций, и электроны проводимости тоже будут отслеживать этот процесс.

Экспериментальное исследование возникновения электрического потенциала на металлических образцах

На рисунке 1 показана температурная зависимость электростатического потенциала образца,

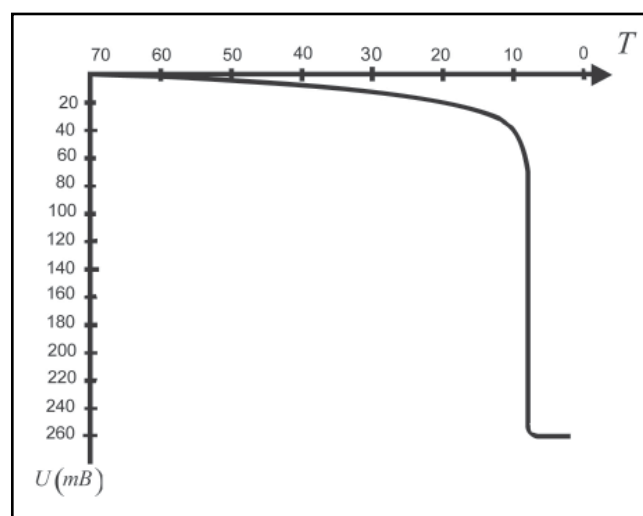


Рис. 1. Зависимость потенциала ниобий-титанового образца от температуры

выполненного из ниобий-титанового сплава, при изменении его температуры в пределах 77...4,2 К.

Видно, что при уменьшении температуры отрицательный потенциал растет сначала достаточно медленно, но в области температуры перехода образца в сверхпроводящее состояние наблюдается резкое падение потенциала.

Исследование влияния механических напряжений и кинетики дислокаций на электростатический потенциал образцов проводилось по следующей методике. Для этого медная колба с толщиной стенок ~ 3 мм и объемом около 5 л помещалась в вакуумную камеру, из которой мог откачиваться воздух. Торцевые стенки колбы были выполнены в виде полусфер. Внутренняя полость колбы при проведении экспериментов находилась под атмосферным давлением. Откачивая или напуская в вакуумную камеру воздух, можно было механически нагружать стенки колбы. Сама колба была отделена от вакуумной камеры втулкой из фторопласта и таким образом имела высокое сопротивление относительно корпуса установки. Одна из типичных зависимостей, полученная при таких экспериментах, представлена на рисунке 2. Видно, что амплитуда эффекта достигает 100 мВ, зависимость имеет сильный гистерезис, причем растяжению стенок колбы соответствует увеличение отрицательного потенциала. На рисунке 2 обход по петле гистерезиса осуществлялся по часовой стрелке. Из полученных результатов следует, что механические напряжения образца приводят к возникновению на нем электростатического потенциала. Наличие гистерезиса указывает на то, что образование дислокаций тоже влияет на электризацию образца и носит необратимый характер. В данном случае необратимость влияния дислокаций на электризацию связана с тем, что дислокации могут, попадая в потенциальные ямы, закрепляться на неоднородностях кристаллической структуры.

Из проведенного рассмотрения следует, что и возникновение быстрых (ударных) механических

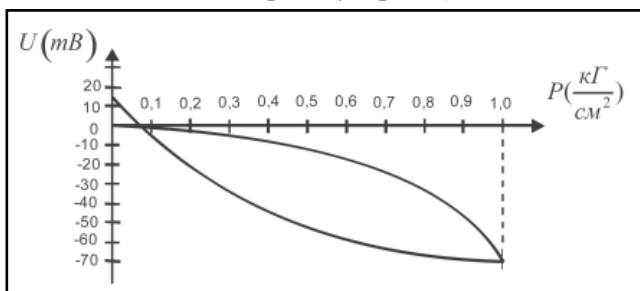


Рис. 2. Зависимость потенциала медной колбы от наружного давления

нагрузок также должно приводить к возникновению на изолированном металлическом образце импульсного потенциала. Этот вопрос исследовался на установке, схема которой приведена на рисунке 3.

К внешнему экрану при помощи широкой горловины подвешена внутренняя емкость. Для устранения гальванического контакта между внешним экраном и внутренней емкостью горловина имеет разрез. Разрозненные части горловины соединены изолирующими прокладками, которые на рисунке обозначены короткими черными отрезками линий. Внутренняя емкость изготовлена из алюминия в виде цилиндра, торцевые стенки которого выполнены в виде полусфер. Такая конструкция торцевых стенок необходима для того, чтобы избежать их деформации при осуществлении взрывов взрывчатки во внутренней емкости. Общий вид установки для исследования динамических нагрузок на алюминиевую колбу и составные части установки показаны на рисунках 4 и 5.

При вбрасывании в горловину стержня весом 200 г с высоты 1 м от дна колбы между внешним экраном и колбой наблюдается импульс напряжения, показанный на рисунке 6. Чтобы избежать появлению дополнительных импульсов при боковом падении стержня после удара его конца о дно

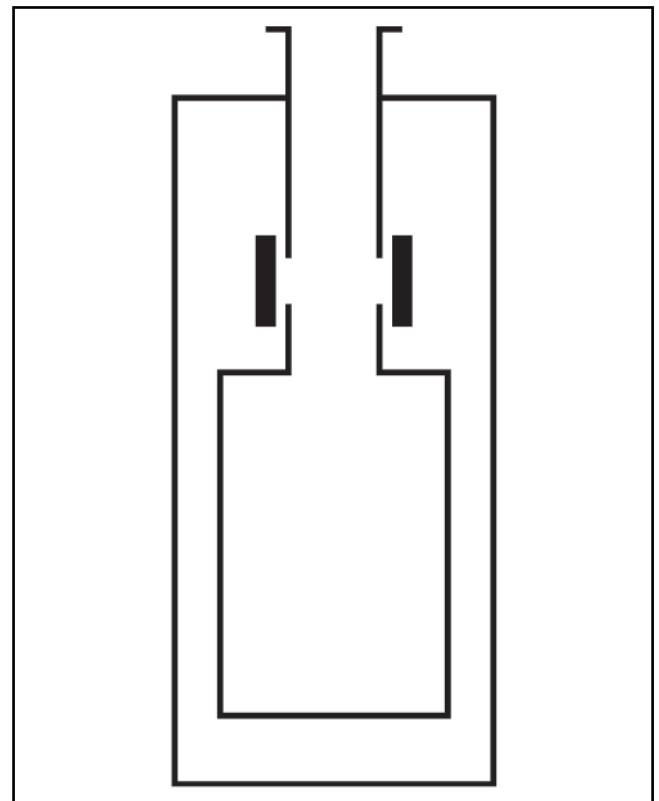


Рис. 3. Схема установки для исследования возникновения импульсов электрического поля при ударных нагрузках

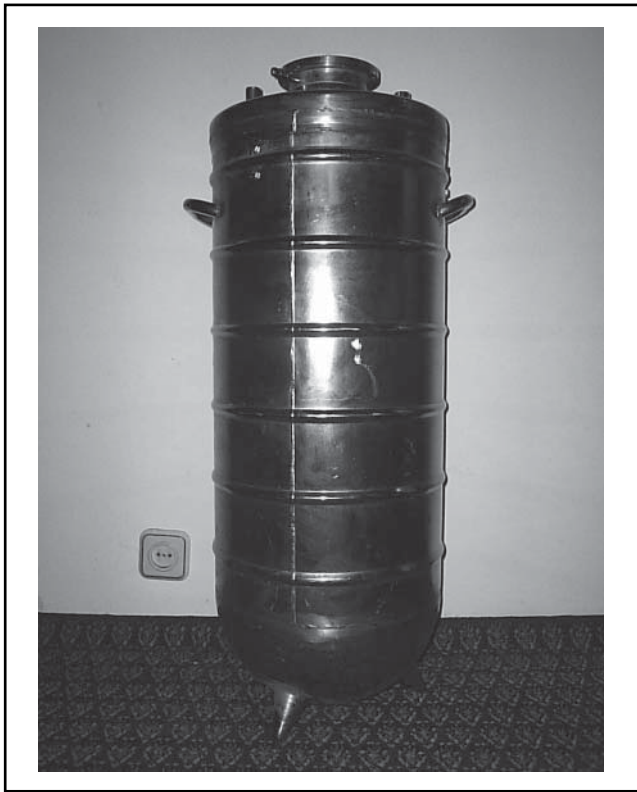


Рис. 4. Общий вид установки для исследования динамических нагрузок

колбы, боковая поверхность стержня обмотана мягкой тканью. Данные этого эксперимента соответствуют экспериментальным данным, полученным с медной колбой, когда ее растяжение приводило к возникновению на колбе отрицательного потенциала. При ударе конца стержня о дно колбы также происходит локальная деформация ее дна, при которой в месте удара происходит растяжение.

Если внутри алюминиевой колбы взорвать заряд небольшой величины, то наблюдается импульс напряжения, показанный на рисунке 7.



Рис. 5. Вид установки в разобранном виде

Многочисленные повторяющиеся импульсы различной полярности, наблюдаемые на осциллограмме, являются следствием многократного отражения ударной волны от стенок колбы, приводящие к ее деформации. Причем имеются импульсы соответствующие как растяжению стенок колбы, так и их сжатию.

Полученные данные свидетельствуют о том, что данный метод может быть использован для исследования быстрых деформационных процессов в металлических образцах.

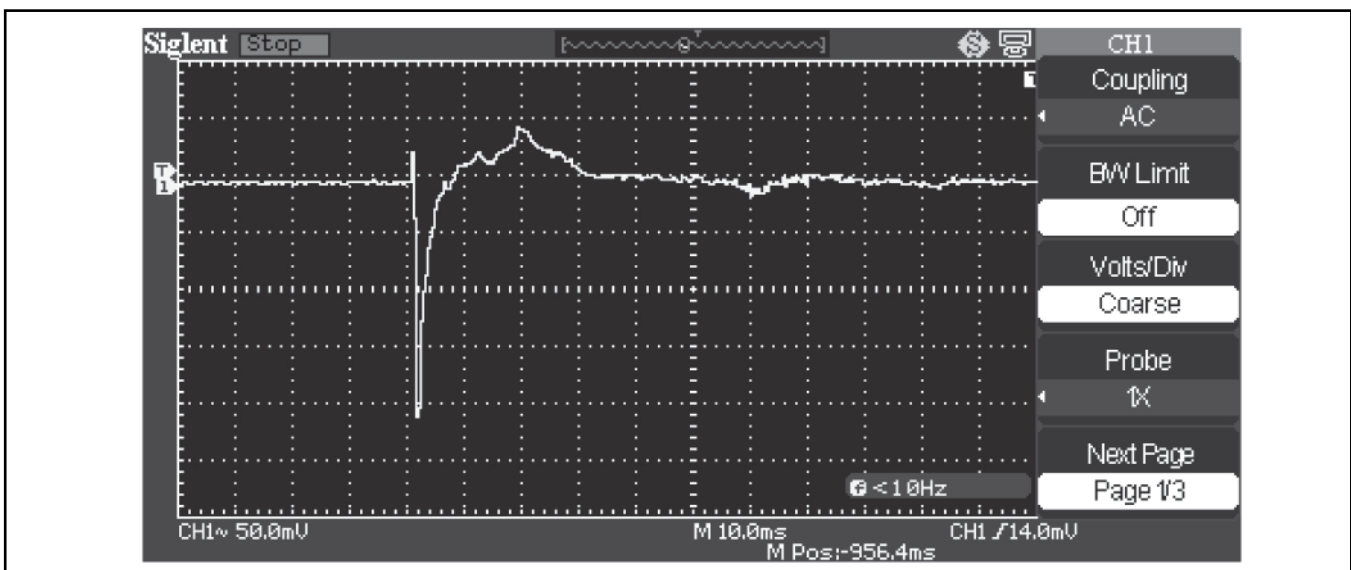


Рис. 6. Форма импульса после падения стержня на дно внутренней емкости при ударных нагрузках

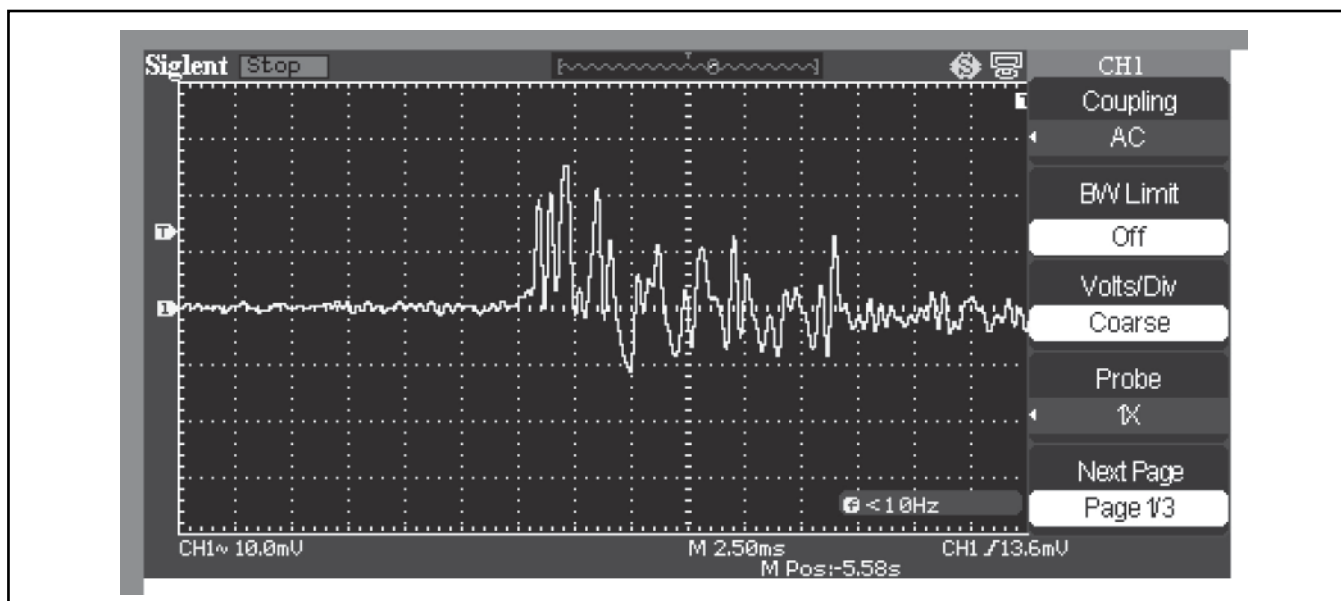


Рис. 7. Форма импульсов напряжения, полученная при взрыве взрывчатки в алюминиевой колбе

Заключение

В статье описан перспективный метод диагностики металлических образцов, основанный на исследовании электростатического потенциала таких образцов. Этот метод заключается в том, что при нагревании или деформации металлических образцов на них возникает электрический потенциал. В работе проведено экспериментальное исследование этого метода и дано его теоретическое обоснование.

ЛИТЕРАТУРА

1. Менде Ф.Ф. Электрополевая спектроскопия // *Инженерная физика*. 2012. № 9. С. 16...18.

REFERENCE

1. Mende F.F. Elektropolevaya spektroskopiya [Electrofield Spectroscopy]. *Inzhenernaya fizika* [Engineering Physics]. 2012. № 9. Pp. 16...18.

Сведения об авторе

Менде Федор Федорович, доктор техн. наук, директор

E-mail: mende_fedor@mail.ru

НИИ Криогенного приборостроения Физико-технический институт низких температур

им. Б.И. Веркина НАН Украины

61103, Украина, Харьков, пр. Ленина, 47

Information about author

Mende Fedor F., Doctor of Techn. Sciences, Director

E-mail: mende_fedor@mail.ru

Research institute for cryogenic instrument engineering B.I. Verkin Institute for Low Temperature Physics

and Engineering NAS Ukraine

61103, Kharkov, Ukraine, Lenin Ave., 47