

Об аномалии в электропроводности ударно сжатого никеля при давлении ~ 23 GPa

© В.В. Комиссаров, М.Н. Павловский

Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики,
607190 Саров, Россия

E-mail: root@gdd.vniief.ru

(Поступила в Редакцию 4 июня 1998 г.)

В диапазоне давлений 14–35 GPa измерено электросопротивление ударно сжатого никеля. Зафиксирован факт его резкого уменьшения при давлении ~ 23 GPa, определены границы существования этой аномалии (± 1 GPa). Показано, что зафиксированная аномалия может быть связана только со структурной перестройкой электронных оболочек никеля.

Экспериментальная информация о свойствах веществ, находящихся в сжатом состоянии, представляет большой интерес как в научном, так и в практическом отношении. Однако если термодинамические свойства вещества при высоких давлениях довольно хорошо изучены, то сведения о кинематических характеристиках (вязкость, теплопроводность, электропроводность и др.) весьма скудны. Поэтому новые данные о них, в частности, об электропроводности при высоких давлениях, имеют особую ценность.

В настоящей работе изложены результаты измерения электропроводности ударно сжатого никеля в диапазоне давлений 14–35 GPa. В научной литературе такие данные отсутствуют. Сжатие никеля осуществлялось с помощью сильных ударных волн, образующихся в результате взрыва мощных зарядов взрывчатого вещества. Использование ударных волн позволяет выполнять исследования в области столь высоких сжатий, где применение статических давлений становится затруднительным или не представляется возможным.

Схема проведения опытов показана на рис. 1. Образец никеля (марки НП-2, ГОСТ 492-73) в виде отрезка проволоки диаметром 0.03 мм, длиной ~ 7 мм вклеивался при помощи эпоксидной смолы между двух дисков из эталонного вещества (алюминий, медь, монокристаллические LiF, CsJ и NaCl, фторопласт-4 и др.), давление за фронтом ударной волны в котором было заранее известно. Нагружение образцов осуществлялось плоской стационарной ударной волной. Ударный фронт в эталонных веществах имел, как показали результаты эксперимента, близкую к "столообразной" одноволновую конфигурацию. В случае использования в качестве эталонных материалов, никелевые образцы изолировались пластинками слюды толщиной ~ 0.03 мм.

Использувавшаяся для определения электропроводности ударно сжатого никеля методика измерений описана в [1,2]. Напряжение питания подавалось на никелевые образцы за $\sim 10 \mu\text{s}$ до момента прихода к ним ударной волны. Каждый никелевый образец имел четыре одинаковых вывода, что позволяло при определении его сопротивления R в сжатом состоянии не

учитывать сопротивления выводов. Одна пара выводов служила для подачи на образец напряжения питания. Регистрируемый сигнал снимался с образца при помощи другой пары выводов и подавался непосредственно на отклоняющую систему осциллографов типа С9-4 и С9-8. Одна из полученных в этих опытах осциллограмм представлена на рис. 1. Электросопротивление ударно нагруженного никелевого образца R рассчитывалось по формуле $R = R_0 \frac{z}{z_0}$, где R_0 — начальное сопротивление никелевого образца, равное $\sim 1 \Omega$, а z_0 и z — амплитуды выбросов на осциллограмме. Результаты опытов

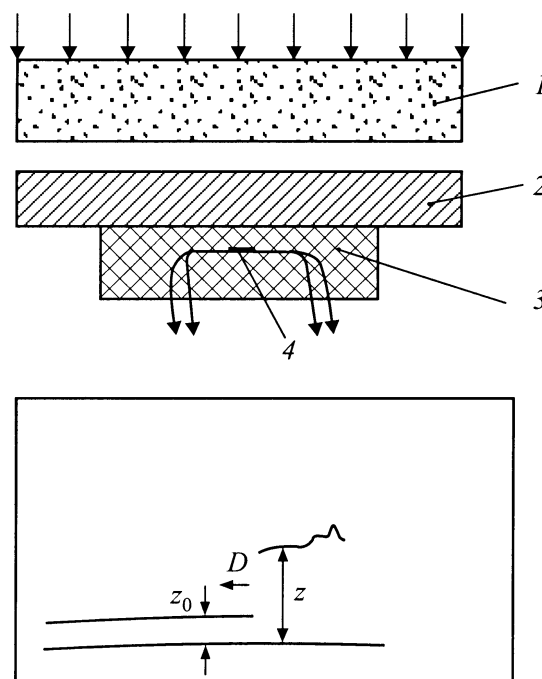


Рис. 1. Схема и осциллограмма опыта по измерению электропроводности ударно сжатого никеля. 1 — заряд ВВ диаметром 120 мм, 2 — экран из меди или алюминия толщиной 10 мм, 3 — эталонное вещество, 4 — никелевый образец с медными выводами. Частота масштабной синусоиды на осциллограмме — 5 МГц, давление ударного нагружения эталонного вещества (NaCl) — 26.2 GPa.

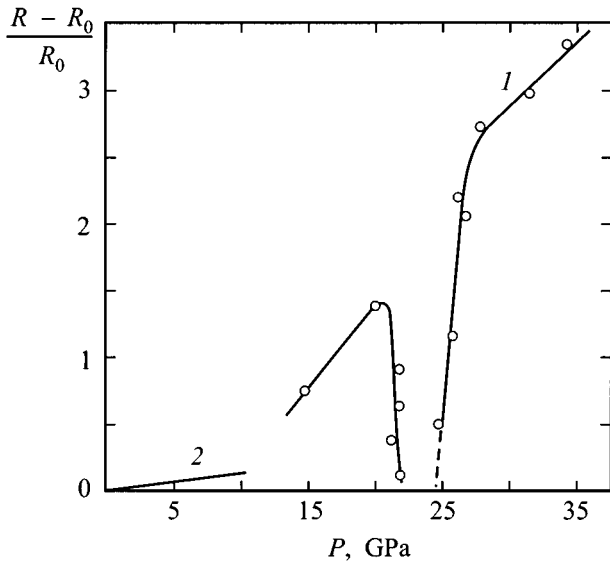


Рис. 2. Зависимость изменения электросопротивления никеля от давления ударного нагружения при ударном сжатии (1) и при статическом сжатии [3] (2).

представлены в координатах $\frac{R-R_0}{R_0} = f(P)^1$ на рис. 2, где они сопоставлены с данными [3] об электропроводности никеля в условиях статического сжатия. Более высокое расположение зависимости ударно сжатого никеля относительно аналогичной зависимости для статического сжатия связано с тем, что при ударном нагружении реализуются более высокие температуры никеля, чем при его статическом сжатии. Как видно из рис. 2, зависимость $\frac{R-R_0}{R_0} = f(P)$ для ударно нагруженного никеля имеет при давлении ~ 23 GPa участок, характеризующийся резким уменьшением электросопротивления никеля и последующим столь же резким его возрастанием.

Для получения дополнительной информации о поведении ударно сжатого никеля в интересующей нас области давлений при помощи манганинового датчика [2,4] выполнена экспериментальная регистрация структуры профиля ударного фронта, распространяющегося по массивной пластине из никеля. Схема проведения опытов показана на рис. 3. Манганиновый датчик давления толщиной ~ 0.03 mm, имеющий форму плоской бифилярной спирали с наружным диаметром ~ 4.5 mm [2,5], клеивался при помощи эпоксидной смолы между двух никелевых дисков толщиной 6 и 8 mm и изолировался от них пластинками слюды толщиной ~ 0.05 mm. Для более полного использования рабочей части экрана осциллографа и повышения точности выполняемых измерений, через $\sim 1 \mu s$ после запуска регистрирующей аппаратуры на отклоняющую систему осциллографов типа С9-4 подавался прямоугольный импульс напряжения амплитудой около 10 V, смещавший луч к нулевой

линии [2,5]. Одна из полученных в опытах этой серии осциллограмм представлена на рис. 3. Давление ударного нагружения никеля и соответственно манганинового датчика (P) определялось из экспериментально измеренной величины электросопротивления R_M манганинового датчика в сжатом состоянии $R_M = R_{M_0}(z_0 - z_1 + z)z_0^{-1}$, где R_{M_0} — начальное сопротивление манганинового датчика, равное $\sim 1.5 \Omega$, а z_0 , z_1 и z — амплитуды отклонений луча на осциллограмме рис. 3. При переходе от R_M/R_{M_0} к P использовалась зависимость электросопротивления манганина от давления ударного нагружения $P = f(R_M/R_{M_0})$ из [4]. Результаты этой серии опытов показали, что ударный фронт в никеле при давлениях ударного нагружения 24.5–30 GPa имеет близкий к "столбовому" профиль. Зафиксированное уменьшение электросопротивления никеля при давлении ~ 23 GPa не сопровождается, следовательно, заметным уменьшением его удельного объема, что привело бы к расщеплению распространяющегося по никелю ударного фронта, как наблюдается при осуществлении полиморфных фазовых превращений [2,5]. Этим, видимо, объясняется также и то, что при изучении ударной сжимаемости никеля [6,7] не обнаружено излома в его ударной адиабате.

В результате выполненных исследований зафиксирован таким образом факт резкого уменьшения электросопротивления ударно сжатого никеля при давлении ~ 23 GPa, определены весьма узкие границы существова-

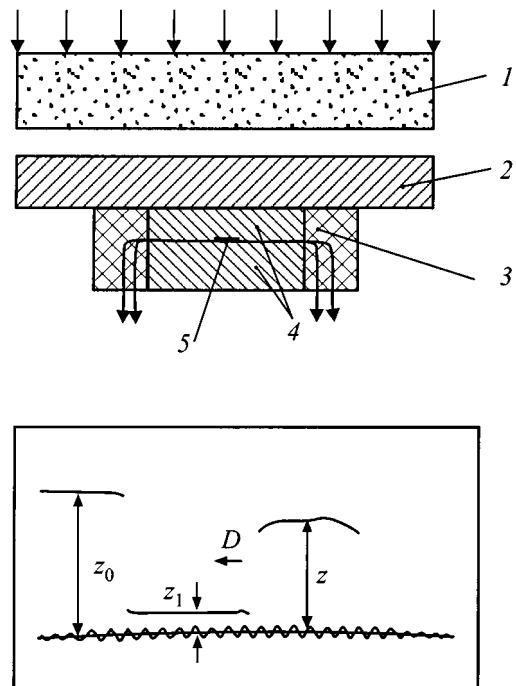


Рис. 3. Схема и осциллограмма опыта по выявлению профиля ударного фронта в никеле. 1 — заряд ВВ диаметром 120 mm, 2 — алюминиевый экран толщиной 10 mm, 3 — эпоксидная смола, 4 — никель, 5 — манганиновый датчик давления. Частота масштабной синусоиды на осциллограмме — 5 MHz.

¹ Погрешность в определении давления и $\frac{R-R_0}{R_0}$ составляла $\sim \pm 3\%$.

ния этой аномалии. Зафиксированная аномалия не может быть связана с протеканием под воздействием ударного сжатия полиморфного фазового превращения никеля. Правдоподобным является предположение, что зафиксированная аномалия связана со структурной перестройкой электронных оболочек никеля при сжатии [8].

Авторы выражают свою признательность А.Б. Медведеву и Р.Ф. Трунину за интерес к работе и полезные обсуждения ее результатов.

Список литературы

- [1] М.Н. Павловский. ЖЭТФ **73**, 1(7), 237 (1977).
- [2] М.Н. Павловский, В.В. Комиссаров. ЖЭТФ **98**, 5(11), 1746 (1990).
- [3] Физические величины. Справочник. Энергоиздат, М. (1991). С. 443.
- [4] М.Н. Павловский, В.В. Комиссаров. ЖЭТФ **83**, 6(12), 2146 (1982).
- [5] Л.В. Альтшулер, М.Н. Павловский, В.В. Комиссаров. ЖЭТФ **106**, 4(10), 1136 (1994).
- [6] Л.В. Альтшулер, А.А. Баканова, Р.Ф. Трунин. ЖЭТФ **42**, 1, 91 (1962).
- [7] М. Райс, Р. Мак-Куин, Дж. Уолш. В сб.: Динамические исследования твердых тел при высоких давлениях. Мир, М. (1965). С. 55.
- [8] П.В. Бриджмен. В сб.: Твердые тела под высоким давлением / Под ред. В.Пола и Д. Варшауера. Мир, М. (1966). С. 17.