

Аннотация к книге

Савватимский А.И., Коробенко В.Н.

Высокотемпературные свойства металлов атомной энергетики (цирконий, гафний и железо при плавлении и в жидком состоянии), - М.:Издательство МЭИ, 2012, - 216 с., ил.
ISBN 978-5-383-00800-3

Современные технические устройства, используемые в атомной энергетике, авиации, космонавтике, требуют знания свойств веществ в экстремальных состояниях: при высоких температурах (до нескольких тысяч градусов), повышенных давлениях (тысячи атмосфер), кратковременных процессах (тысячные и миллионные доли секунды). При таких высоких параметрах состояния, само вещество находится, как правило, в жидком состоянии. Поскольку теория жидкого состояния еще не сформулирована в окончательном виде, расчетные методы для веществ, находящихся в жидком состоянии, недостаточно точны и информативны. Данная работа посвящена экспериментальному исследованию и измерению свойств тугоплавких проводящих веществ, при плавлении и в жидком состоянии. В первую очередь, это относится к электронным свойствам - электросопротивлению и электронной эмиссии, а также к тепловым свойствам (энтальпии, теплоемкости и тепловому расширению). В качестве объекта исследования использовались проволоки и фольги металлов (циркония, гафния, железа), то есть те металлы, которые широко используются в атомной энергетике и других отраслях промышленности.

Быстрый нагрев металла (например, в виде проволоки) в течение нескольких микросекунд, т.е. миллионных долей секунды, позволяет достичь очень высоких температур, при сохранении объекта в жидком состоянии, причем расплавленная проволока не изменяет формы и положения в пространстве. Этого короткого времени достаточно, чтобы используя современные высокоскоростные методы регистрации, измерить свойства веществ при высоких температурах. Температура измерялась, как правило, при использовании фольг исследуемых металлов в виде плавящейся модели черного тела (МЧТ). Поэтому измерялась истинная температура, не требующая учета излучательной способности. Последняя, как известно, сама зависит от температуры и состояния поверхности, поэтому использование МЧТ позволило получить достоверные свойства в зависимости от истинной температуры. В том числе, и для жидкого состояния при температурах вплоть до ~ 5000 К. Значительным преимуществом методов быстрого (микросекундного) нагрева является возможность получения свойств металла в едином акте нагрева (для одного и того же образца). Причем, для всех фазовых состояний: для твердой фазы, начиная от начала нагрева; для области фазовых переходов в твердом теле, а также при плавлении; и, наконец, для жидкой фазы при предельно высоких температурах.

Во введении рассмотрены физические основы электрического взрыва проводников и обсуждены особенности быстрого нагрева электрическим током, которые влияют на состояние электронной подсистемы конденсированного тела. В частности, это связано с еще неустановившимся мнением о причинах аномальной электронной эмиссии и «взрывной» электронной эмиссии, которые имеют общую характеристику: быстрый нагрев (от наносекунд до микросекунд) электронным током в электрическом поле, (и/либо) электрическим (джоулевым) нагревом. Быстрый нагрев приводит также к неравновесному состоянию для диффузионных фазовых переходов в твердых телах, что фиксируется в эксперименте и обсуждается в этой работе. Найдена оптимальная область по скорости нагрева (времени нагрева), использование которой позволяет получить высокотемпературные свойства близкие к равновесным. Это доказывается многочисленными сравнениями с надежными данными стационарных исследований. Отдельно обсуждается вопрос о возможном «перегреве» вещества при плавлении в условиях быстрого нагревания; показано, что перегрева чистых металлов при микросекундных скоростях нагрева (в пределах погрешностей измерения) не наблюдается. Тем не менее, у многих профессиональных специалистов стационарных исследований сохраняется патологическое неверие в возможность измерений равновесных свойств металлов импульсным методом.

Подробно и тщательно исследован цирконий, один из основных металлов атомной энергетики. Причем для циркония неоднократно проводится сопоставление с данными стационарных исследований для широкой области температур. Для полученных свойств жидкого циркония

проводится сравнение с другими металлами (вплоть до легкоплавких). Для гафния высокой чистоты данные стационарных исследований для жидкого состояния отсутствуют, поэтому полученные свойства жидкого гафния по теплоемкости, тепловому расширению являются единственными в мировой литературе. Приведены экспериментальные данные для электросопротивления твердой и жидкой фаз металлов, в том числе, с учетом теплового расширения. Измерение теплового расширения металлов (Hf, Zr, Fe) в жидком состоянии проводилось с использованием флэш-метода (наносекундный подсвет лазерным излучением). Для циркония, гафния и железа тепловое расширение получено до температур кипения при атмосферном давлении. Фактически измерена плотность жидких тугоплавких металлов при предельно высоких температурах. Приведены экспериментальные данные для теплоемкости жидких металлов в широком диапазоне температур, а также излучательной способности в жидкой фазе.

Указываются перспективы импульсного нагрева током; отмечаются дальнейшие возможности метода. В частности, приведены экспериментальные данные об электросопротивлении расширенного железа в сверхкритическом состоянии при давлениях в десятки кбар и о переходе металлического состояния железа в неметаллическое. Давление измерялось по смещению линии люминесценции рубина в спектре, в процессе импульсного нагрева. Авторы надеются, что обширный экспериментальный материал, изложенный в этой монографии, будет способствовать дальнейшему более широкому использованию методики импульсного нагрева.