Math-Net.Ru
Общероссийский математический портал

В. А. Вертоградский, В. Я. Чеховской, Электросопротивление вольфрам-рениевого сплава ВР-20 при высоких температурах,
ТВТ, 1971, том 9, выпуск 2, 438–440

https://www.mathnet.ru/tvt7986

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением
https://www.mathnet.ru/rus/agreement

Параметры загрузки:
IP: 18.97.14.86
18 июня 2025 г., 18:54:36

Характеристическое отношение смеси

$$k = (2x_{H_2O} + 2x_{H_2} + x_{OH} + x_H) / (x_{H_2O} + 2x_O, + x_{OH} + x_O). \quad (3)$$

В равновесном случае $k = k_0 = 2$, т. е. является выражением материального баланса в точке, в то время как в системе с градиентом температуры k является функцией температуры. За суммарный эффект разделения принято отклонение величины k / k_0 от единицы, выраженное в процентах. В обоих случаях интегрирования это отклонение растет по мере удаления от точки, в которой состав принят равновесным, и составляет $>60\%$ при $T = 6000°$ К для первого решения (рис. 1, *а*) и $\sim 80\%$ при $T = 1500°$ К для второго решения (рис. 1, *б*). Направление суммарного эффекта, как и следовало ожидать, в обоих случаях одинаково, а именно — горячие области обеднены легким компонентом — водородом по сравнению с более холодными, однако отличия в составах очень значительны.

Обычно приходится иметь дело с дугами со стабилизирующими стенками, а не с так называемыми открытыми дугами [3]. Системы, используемые для определения теплопроводности смесей химически реагирующих газов, также обычно являются цилиндрическими, а самое главное — ограниченными и замкнутыми. Ясно, что при определении состава газа или точного значения эффекта разделения по массам в таких закрытых системах уже нельзя в произвольной точке принимать равновесный состав в качестве граничных условий, как это делалось в [1, 2, 6, 7]. Из приведенных выше решений видно, что при этом можно рассчитывать на описание направления эффекта в самых общих чертах. Поэтому часть результатов в этих работах можно рассматривать лишь как качественные выводы. Строгое решение потребует выполнения условий материального баланса для всей ячейки. Следует отметить, что ранее задача подобного типа рассматривалась в работе Е. В. Самуйлова [8], где простота химически реагирующей смеси позволила провести решение аналитически. Если при решении подобных задач учитывать изменение состава плазмы вдоль столба дуги [9], то граничные условия и для открытых систем в осевом направлении для дуг также потребуют дополнительного анализа.

Московский энергетический институт

Поступило в редакцию 29 I 1970

ЛИТЕРАТУРА

1. W. Frie, H. Maecker, Z. für Physik, **162**, 69, 1961.
2. J. Z. Richter. Z. für Astrophysik, **53**, 262, 1961.
3. И. А. Кринберг. Теплофизика высоких температур, 5, № 5, 1967.
4. Дж. Гиршфельдер, Ч. Кертисс, Р. Берд. Молекулярная теория газов и жидкостей. Изд. иностр. лит., 1961.
5. Л. В. Гурвич и др. Термодинамические свойства индивидуальных веществ, Изд. АН СССР, 1962.
6. W. Frie. Z. für Physik, **201**, 269, 1967.
7. H. Motschman. Z. für Physik, **205**, 235, 1967.
8. Е. В. Самуйлов. В сб. Физическая газодинамика, теплообмен и термодинамика газов высоких температур. Изд. АН СССР, М., 1962, стр. 99.
9. W. Frie. Z. für Physik, **172**, 99, 1963.

УДК 537.312.5:546.78/.546.79:546.3—19.

ЭЛЕКТРОСОПРОТИВЛЕНИЕ ВОЛЬФРАМ-РЕНИЕВОГО СПЛАВА ВР-20 ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

В. А. Вертоградский, В. Я. Чеховской

В настоящее время электросопротивление сплава ВР-20 изучено недостаточно [1, 2, 3]. В частности, высокотемпературные исследования ограничены температурой 2200° К [3]. При средних температурах данные для сплава с 21% Re [2] лежат ниже, чем для сплава с 20% Re [1], что указывает на возможность систематической ошибки (рис. 1). Это определило целесообразность новых измерений.

Наши измерения проведены в интервале температур (1200—2800)° К. Исследовались образцы в виде проволоки диаметром 0,2 *мм* с содержанием рения 20 ± 0,5%. Установка представляла собой охлаждаемую водой вакуумную камеру с вертикальным трубчатым нагревателем диаметром 8 *мм* и длиной 150 *мм*. Нагреватель изготовлялся из вольфрамовой фольги толщиной 0,04 *мм*. Концы нагревателя на длине

15 *мм* были в контакте с токоподводами, т. е. рабочая часть нагревателя составляла 120 *мм*. Сечение и длина молибденовых токоподводов на участке от нагревателя до охлаждаемых медных токовводов подбирались такими, чтобы температура концов рабочей части нагревателя составляла около 0,8 температуры центра нагревателя. Это обеспечивало наличие изотермического участка в центральной зоне нагревателя, даже на нижнем температурном пределе.

Температура в центральной зоне нагревателя определялась оптическим пирометром ЭОП-051 через смотровое окно в стенке камеры диаметром 45 *мм* и отвер-

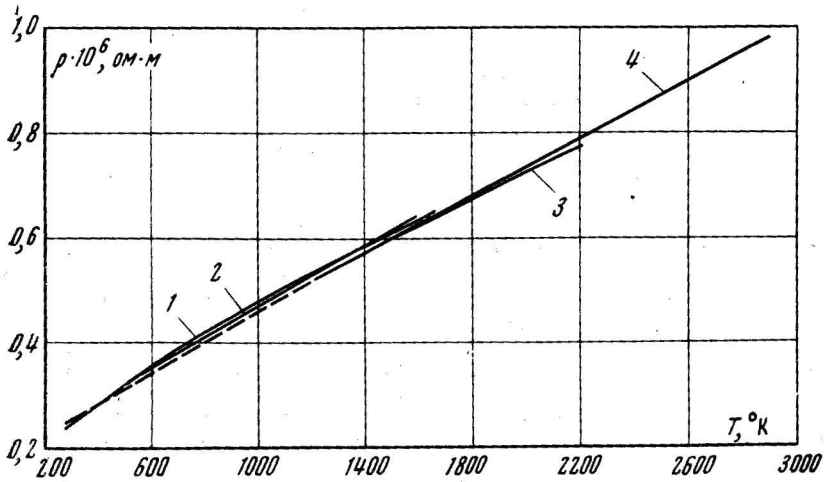

Рис. 1. Зависимость электросопротивления вольфрам-рениевых сплавов от температуры:

1 — [1], 20% Re; *2* — [2], 21% Re; *3* — [3], 20% Re; *4* — данные авторов, 20% Re

стие в стенке нагревателя диаметром 0,6 *мм*. Пирометр был отградуирован по образцовой лампе 1-го разряда. Измерение электросопротивления проводилось потенциометрическим методом с применением потенциометров класса 0,015.

Рабочий участок образца выделялся потенциальными съемниками, присоединенными к потенциальным отводам — двум вольфрамовым проволокам, натянутым внутри нагревателя параллельно образцу. Применялись потенциальные съемники двух видов: петли вольфрам-рениевой проволоки диаметром 0,05 *мм* и пластинки из вольфрамовой фольги толщиной 0,04 *мм* с отверстиями для образца и потенциального отвода.

Образец с потенциальными отводами, потенциальными съемниками, пружинящими растяжками и керамическими втулками — узлами крепления предварительно монтировался на державке и вводился в нагреватель сверху, после чего державка удалялась. Узлы крепления образца и потенциальных отводов находились за пределами нагревателя.

Перед началом опытов образец отжигался прямым пропусканием электрического тока в течение часа при 2500° К.

Для исключения необходимости измерения длины рабочего участка внутри нагревателя вычислялось отношение его электросопротивления при рабочей температуре к электросопротивлению при 293° К. Длина образца при комнатной температуре измерялась инструментальным микроскопом. Сечение образца определялось взвешиванием центральной части отожженного образца на аналитических весах с использованием значения плотности $19{,}8 \cdot 10^3$ *кг/м*^{3}, после чего определялось удельное сопротивление сплава при комнатной температуре.

Варьирование условий проведения опытов позволило установить отсутствие систематической ошибки в измерении температуры образца за счет: неравномерности температурного поля по образцу вследствие теплоотводов и неравномерности температурного поля нагревателя; отклонения температуры образца от измеряемой пирометром температуры из-за теплоотводов по образцу и теплопотерь излучением вдоль нагревателя; отклонения температуры образца от измеряемой пирометром температуры из-за наличия продольного стыка на нагревателе. Для этой цели проведены следующие эксперименты с отклонением от стандартных условий: длина рабочего участка образца увеличена вдвое; рабочий участок подвешен на растяжках-токоподводах из проволоки ВР-20 диаметром 0,05 *мм*, при этом на расстоянии 20 *мм* от центра нагревателя внутри его установлен отражающий экран из вольфрамовой фольги; нагреватель вместо бокового стыка имеет зазор шириной 0,8 *мм*.

Измерения при температурах, превышающих 1900° К, проведены в атмосфере аргона. После заполнения камеры аргоном марки «чистый» в течение часа проводилась очистка его от примеси кислорода путем поглощения кислорода титановой губкой, разогретой до температуры 1150° К. Полученные при различных условиях опыта серии экспериментальных точек не обнаруживают систематического отклонения от осредняющей кривой, рассчитанной методом наименьших квадратов.

Ввиду отсутствия данных по линейному расширению ВР-20, поправка на линейное расширение вводилась с использованием данных для чистого вольфрама [4].

Полученные сглаженные значения электросопротивления представлены в таблице.

Удельное электросопротивление отожженного сплава при температуре 293° С равно $0{,}247 \cdot 10^{-6}$ *см·м*.

Среднеквадратичное отклонение экспериментальных точек от осредненных по наименьшим квадратам значений составляет 0,35%. Случайная ошибка сглаженных

T, °К	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800
$\rho \cdot 10^3$, *ом·м*	0,515	0,572	0,628	0,683	0,738	0,792	0,845	0,898	0,950

значений, приведенных в таблице, определяемая как 95% доверительный интервал, не превышает 0,25%. Относительная систематическая ошибка полученных данных определяется рядом составляющих: за счет неопределенности химического состава — 0,5%, градуировки пирометра — 0,2%, неточности введения поправки на поглощающее стекло и незамкнутость изотермической полости — 0,1%, ошибки значения плотности, принятого при весовом методе измерения сечения — 0,25%, неточности введения поправки на линейное расширение — 0,1%, погрешности взвешивания на аналитических весах — 0,1% погрешности измерения длины инструментальным микроскопом — 0,05%. С учетом большого количества источников систематической погрешности наиболее вероятной будет среднеквадратичная погрешность, равная 0,6%.

Предельная погрешность, определяемая как сумма случайной ошибки и всех составляющих систематической погрешности, составляет 1,5%.

Институт высоких температур
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
29 VII 1970

ЛИТЕРАТУРА

1. С. К. Данишевский, С. И. Ипатова, Е. И. Павлова, Н. И. Смирнова. Завод. лабор., **29**, 111, 39, 1963.
2. С. И. Ипатова, Е. И. Павлова. Сб. материалов по вакуумной технике, вып. XXIII. Госэнергоиздат, 1960.
3. Материалы и сплавы для электровакуумных приборов (под ред. Р. А. Нилендера). «Энергия», 1965.
4. Thermophysical Properties of High Temperature Solid Materials, Ed. V. S. Touloukian. N. Y.— London, TPRC, 2, p. 2, 1967.

УДК 536.212.2+221

ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ НЕКОТОРЫХ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ ИНДИЙ — ОЛОВО В ТВЕРДОМ И ЖИДКОМ СОСТОЯНИЯХ

Б. П. Пашаев, В. Г. Ревелис

В предлагаемой работе измерена теплопроводность индия, олова, а также сплавов индия с оловом (20, 48, 60 и 85 *вес.*% Sn).

Данных по исследованию теплопроводности сплавов системы индий — олово в литературе не встречается. Поэтому все измерения были выполнены с особой тщательностью при неоднократном повторении эксперимента. Измерения проведены плоским стационарным методом. Для компенсации тепловых потерь основного нагревателя использованы побочные нагреватели со стороны боковой поверхности и со стороны торца основной печи.

Система контроля компенсации состоит из двух электрически изолированных друг от друга медь-константановых или сталь-константановых дифференциальных