

4. Бавыкин О.Б. Формирование наименьшего значения шероховатости поверхности деталей машин на основе выбора оптимальных режимов размерной электрохимической обработки / О.Б. Бавыкин, О.Ф. Вячеслава // Известия МГТУ «МАМИ». - 2010. - № 2 (10). – С. 102-107.
5. Вячеслава О.Ф. Современные технологии обработки материалов в свете теории фракталов и ее практического приложения / Вячеслава О.Ф. // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2006. № 2. - С. 34-43.
6. Саушкин Б.П. Перспективы развития и применения физико-химических методов и технологий в производстве двигателей / Б.П. Саушкин, Б.В. Шандров, Ю.А. Моргунов // Известия МГТУ «МАМИ». –2012, - Т. 2. №2 (14), - С. 242-248.
7. Яковлев А.В. Оценка результатов в системе автоматизированного анализа шероховатости поверхности / А.В. Яковлев, А.Н. Миловзорова // Методы и устройства передачи и обработки информации. - 2001, № 1, - С. 202-203.
8. Вячеслава О.Ф. Применение фрактального анализа для описания и оценки стохастически сформированных поверхностей / О.Ф. Вячеслава, О.Б. Бавыкин // Известия МГТУ «МАМИ». – 2012, - Т. 2. №2 (14), - С. 61-63.
9. Потапов А.А. Исследование микрорельефа обработанных поверхностей с помощью методов фрактальных сигнатур / А.А. Потапов, В.В. Булашкин, В.А. Герман, О.Ф. Вячеслава // ЖТФ. – 2005, - Т. 75. № 5.

**Влияние фазового состава на электро-теплофизические свойства
порошковых сплавов вольфрама для высоконагруженных
электроконтактов**

д.т.н. проф. Арзамасов В.Б., к.т.н. доц. Антипенко В.С., Строев А.А., Галкин К.В.
Университет машиностроения

Анотация. В данной статье приведены результаты, исследований удельного электросопротивления (ρ), коэффициента теплопроводности (λ), числа Лоренца (L) и работы выхода электрона (ϕ) вольфрама, легированного Yb_6 , (ВИ615) La_2O_3 , (ВЛ15) Y_2O_3 , (ВЛ5, ВИ15) $Y_2O_3 + HfO_2$ (ВИГМ) в широком температурном интервале.

Ключевые слова: электропроводность, теплопроводность, термоэмиссия контактная поверхность

Высоконагруженные электроконтакты (ВЭК) работают в условиях дугообразования в средах с повышенным содержанием паров бензина, масел и влаги при высоких частотах срабатывания и больших контактных нажатиях.

При разработке новых ВЭК на основе вольфрама большое значение имеют исследования зависимости рабочих характеристик от состава материала. Однако в литературе практически отсутствуют систематические данные по влиянию легирования на электро-теплофизические свойства сложных композиций, а имеющиеся лишь описывают влияние условий эксплуатации электроконтактов на их рабочие характеристики, не раскрывая особенностей механизмов, протекающих внутри контактного материала.

В данной работе приведены результаты исследований удельного электросопротивления (ρ), коэффициента теплопроводности (λ), числа Лоренца (L) и работы выхода электрона (ϕ) вольфрама, легированного Yb_6 , (ВИ615) La_2O_3 , (ВЛ15) Y_2O_3 , (ВЛ5, ВИ15) $Y_2O_3 + HfO_2$ (ВИГМ) в широком температурном интервале.

Приведенные на рисунке 1 зависимости $\rho=f(T)$ свидетельствуют об линейном возрастании этой характеристики в интервале 1200...1800°C, причем с ростом температуры разница между удельным электросопротивлением чистого и легированного вольфрама увеличивается. Значительное увеличение значений электросопротивления при введении в вольфрам различных тугоплавких соединений объясняется тем, что проводимость легирующих добавок существенно ниже проводимости матрицы. Поэтому в первом приближе-

нии возможно говорить об условной объемной пористости в двухфазной системе W-соединение. В этом случае значение электропроводности пористого материала равно [1]:

$$\sigma = \sigma_0 (1 - 1,5 \cdot \Pi),$$

где σ_0 - значение электропроводности компактного материала;

Π - величина объемной пористости.

Выше 1800°C в исследуемых сплавах наблюдается нарушение линейности зависимости $\rho = f(T)$, что может быть объяснено процессами первичной рекристаллизации, причем снижение значений электросопротивления у разных сплавов происходит в различных температурных интервалах. Практически отсутствующее снижение значений электросопротивления в сплаве W-1,5%YB₆ объясняется одновременным протеканием процессов рекристаллизации при $1800...1900^\circ\text{C}$ и растворения компонентов второй фазы в матрице. Диссоциация HfO₂ и растворения гафния в интервале температур $2000...2200^\circ\text{C}$ приводит в сплаве ВИГМ 15-2-5 к образованию соединения (Y,Hf)₂O₃, что обуславливает снижение степени легирования матрицы и, следовательно, уменьшение роста зависимости электросопротивления. Существенное увеличение степени взаимодействия в сплаве W-La₂O₃ при температуре выше 2000°C вызывает соответствующий рост ρ . Характер зависимости $\rho = f(T)$ сплавов ВИ-5 и ВИ-15 отражает начало процессов рекристаллизации (1800 и 2000°C , соответственно) и последующее укрупнение частиц Y₂O₃.

Приведение зависимости $\lambda = f(T)$ хорошо согласуются с вышеизложенными соображениями, т. к. для всех сплавов наблюдается падение коэффициента теплопроводности. Линейность зависимости $\lambda = f(T)$ на протяжении всего температурного интервала исследований свидетельствует о том, что теплопроводность не является структурно-чувствительным свойством материала.

Экспериментально определенные значения числа Лоренца, зависимость изменения которого с ростом температуры практически не ощущается, составляют в среднем $2,9...3,0 \cdot 10^{-8} \text{B}^2/\text{град}^2$ и отличаются от теоретического $L = 2,45 \cdot 10^{-8} \text{B}^2/\text{град}^2$, что связано с не учетом вклада кристаллической решетки.

Однако ошибка в оценке теплопроводности по результатам измерения электросопротивления не превышает $0,3...0,5\%$.

На рисунке 2 представлены измеренные методом полного тока значения работы выхода сплавов в зависимости от температуры и испытания. Анализируя полученные зависимости можно сказать, что интервал образования минимума, все более проявляющийся с повышением температуры, зависит от легирующих компонентов сплава и связан с образованием на поверхности вольфрама адсорбированной из его внутреннего объема пленки атомов соответствующего легирующего металла. Косвенным подтверждением наличия покрытия РЗМ на поверхности вольфрама может являться возрастание работы выхода сплавов W-YB₆, W-La₂O₃ и W-Y₂O₃ при температурах, близких к 2000°C , т.е. при температурах десорбции атомов покрытия с поверхности вольфрама (рисунок 2).

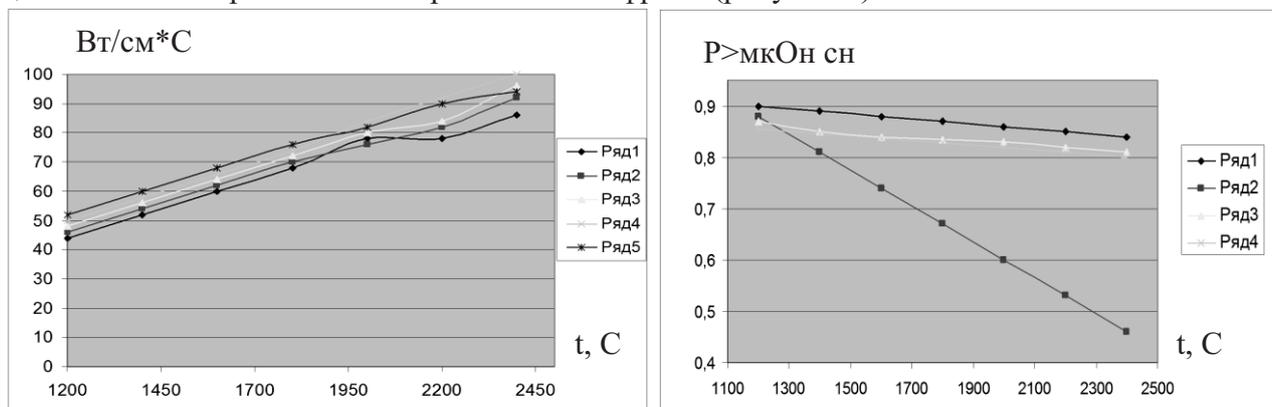


Рисунок 1. Удельное электросопротивление ρ , число Лоренца L и коэффициент теплопроводности λ легированного вольфрама в зависимости от температуры: ВИ 5(1), ВИ15 (2), ВЛ15 (3), ВБ 15 (4). ВИГМ 15-2 (5,6-расчет)

Таким образом, среди двухфазных сплавов системы W-Me_xN_y максимальные значения ϕ и рост этой характеристики при повышении температуры наблюдается у сплава W-YB₆, затем следует W-La₂O₃ и W-Y₂O₃, минимальные значения вакуумной работы выхода, а вместе с тем и более пологая зависимость $\phi=f(T)$ наблюдались у многокомпонентного сплава ВИГМ 15-2.

Полученные данные хорошо объясняются с позиции термической стабильности легирующих добавок [2,3]. Так, YB₆ наименее устойчиво, что приводит к более активной диссоциации этого соединения, диффузии и последующей десорбции иттрия с поверхности вольфрама. Затем следует La₂O₃ и, наконец, наиболее термодинамически стабильные соединения в сплавах вольфрама с Y₂O₃ и (Y₂O₃+ HfO₂).

Проведенные обобщения результатов исследования состава на комплекс электро-теплофизических свойств были подтверждены результатами сравнительных испытаний в электротехнической лаборатории ОГК завода АТЭ-2 на стенде порошковых сплавов. Исследуемые сплавы применяли в качестве материалов для высоконагруженных разрывных электродов. Испытания показали, что после 1100 час. работы контакты, изготовленные из сплавов W-(0,5 ÷ 1,5)% Y₂O₃ и W-(1,5%Y₂O₃ + 0,2% HfO₂), существенных изменений не претерпели, но потеряли характерный металлический блеск из-за окислительных процессов на контактной поверхности. Более грубая контактная поверхность наблюдалась у сплавов вольфрама с La₂O₃ и YB₆, что указывало на эрозионные процессы.

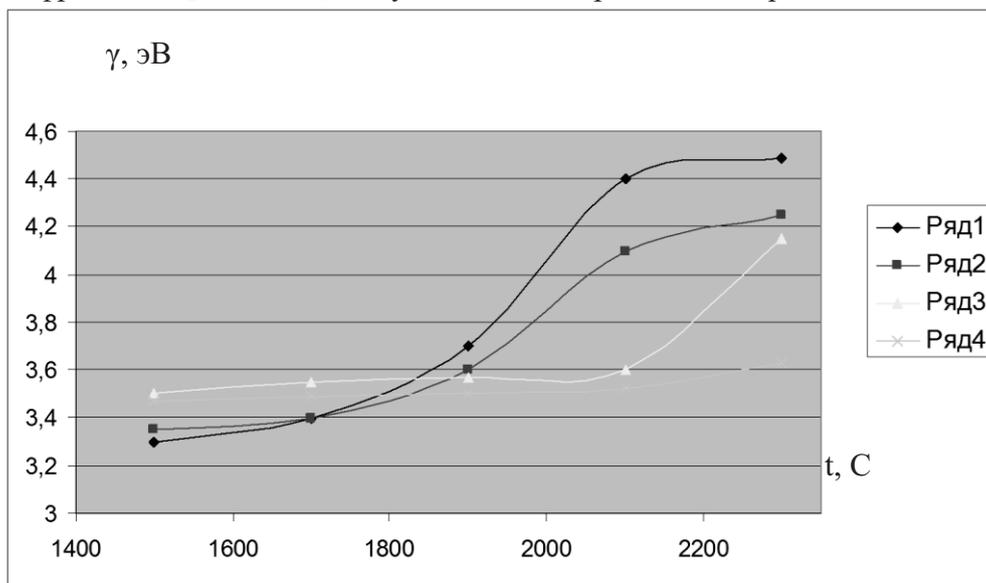


Рисунок 2. Влияние температуры испытания на работу выхода электрона легированного вольфрама: ВЛ15 (1), ВЛ15 (2), ВЛ15 (3), ВИГМ 15-2 (4)

И наконец, вольфрамовые контакты имели ярко выраженные эрозионные разрушения, заключающиеся в переносе материала с подвижного контакта на неподвижный. На поверхности подвижного контакта образовался кратер диаметром 1,2 мм, а на поверхности неподвижного контакта – наплыв высотой 0,5 мм, при этом контактное пятно составляет 90% площади контактной поверхности.

Таким образом, дисперсное упрочнение вольфрама замедляет эрозионные процессы, приводящие к выходу контакта из строя.

Литература

1. Арзамасов В.Б. “Материалы для высокотемпературных электродов различного назначения”. Справочник по конструкционным материалам. Изд-во МГТУ им Н.Э. Баумана, М., 2005, 551-554.
2. “Термодинамические свойства неорганических веществ”. Справочник под ред. Зефирова А.П., М., “Атомиздат”, 1966, 463 с.с. ил.
3. Фоменко В.С. “Эмиссионные свойства материалов”. Справочник., К., “Наукова думка”, 1981., 339 с.с. ил.