

B на оптимальных скоростных режимах, которое будет задавать система управления.

Далее по этой же формуле (3) определяется время перемещения грузоподъемника по вертикали – $t_y (y_i)$. Данные по скоростям V_p, V_n , ускорениям разгона $a_{разг}$ и торможения $a_{торм}$ берутся из характеристики эл. двигателя вертикального перемещения грузоподъемника КШ. Величина S_3 равна высоте одной ÷ трём ячейкам и зависит от величины V_p . Величина S_3'' – путь, который проходит грузоподъемник КШ при механическом торможении и зависит от расположения шунтов точной установки КШ. Время t_3'' – время, необходимое для окончательной остановки грузоподъемника КШ при механическом торможении.

После подстановки значений в формулу (3) и изменения V_p определяем минимальное значение времени – это время движения грузоподъемника КШ по вертикали из подсекции 1 (точка *A*) к ячейке *B* на оптимальных скоростных режимах.

Сравнивая времена вертикального и горизонтального перемещения грузоподъемника КШ, выбираем максимальное время – это время цикла КШ по перемещению тары из подсекции 1 точка *A* в ячейку *B* стеллажа. Время полного цикла определяется по формуле (1).

Данная методика позволяет определять время цикла автоматического стеллажного КШ по перемещению тары с учётом динамических характеристик приводов вертикального и горизонтального перемещения.

Литература

1. Вороненко В.П., Соломенцев Ю.М., Схиртладзе А.Г. Проектирование машиностроительного производства/ Под ред. член-корр. РАН Соломенцева Ю.М. – М.: ИЦ МГТУ «СТАНКИН», Янус-К, 2002, -384с.
2. Зерцалов А.И. и др. Краны-штабелёры/ А.И. Зерцалов, Б.И. Певзнер, И.И. Бененсон - 3-е изд., перераб. и доп. – Машиностроение, 1986. -320с., ил.

Длительная прочность эмитерных оболочек термоэлектронных преобразователей энергии из жаропрочного сплава молибдена в вакууме или в парах цезия

проф. д.т.н. Арзамасов В.Б., доц., к.т.н. Смирнова Э.Е., к.т.н., доц. Черепяхин А.А.,
Абдулаев Т.О.
МГТУ «МАМИ»

Для катодных узлов термоэмиссионных преобразователей (ТЭП), работающих под нагрузкой при температурах до 1500°C в вакууме или в парах цезия, необходимым условием являются высокие и стабильные значения длительной прочности в процессе эксплуатации.

В настоящей работе приведены результаты испытаний на ползучесть цилиндрических эмиттеров из жаропрочного сплава ВМЗ в литом и термообработанном состоянии в вакууме и в парах цезия.

Образцы для испытаний на ползучесть выполнены из сплава ВМЗ системы Mo–Ti–Nb–Zn–С методом двойного вакуумного переплава, экструзии полученного слитка на пруток Ø16 мм и отжига при 1650°C в течение 1 час с дальнейшей токарной обработкой.

Испытания проводились на стенде МГТУ им. Н.Э. Баумана, позволяющем одновременно испытывать три образца, соединенных в сборку.

На рис. 1 приведена схема сборки цилиндрических образцов подготовленных к испытаниям.

На рис. 2 показана схема вакуумной части экспериментального стенда системы нагружения образцов внутриволновым давлением.

Насос 1 предварительного разряжения мод. ВН-1МГ обеспечивает вакуум в системе до 1 Па. Паромасляный агрегат 4 мод. ВА05-09 служит для создания и поддержания вакуума (5×10^{-3} Па) в рабочей камере. В систему радиационного нагрева входят нагреватели 5 из вольфрамовой проволоки ВА (Ø1 мм), регулируемый источник питания нагревателей, радиационные экраны 3 из танталовой фольги (δ 0,2 мм), служащие для уменьшения радиаци-

онных потерь и выравнивания температурного поля вдоль исследуемых образцов.

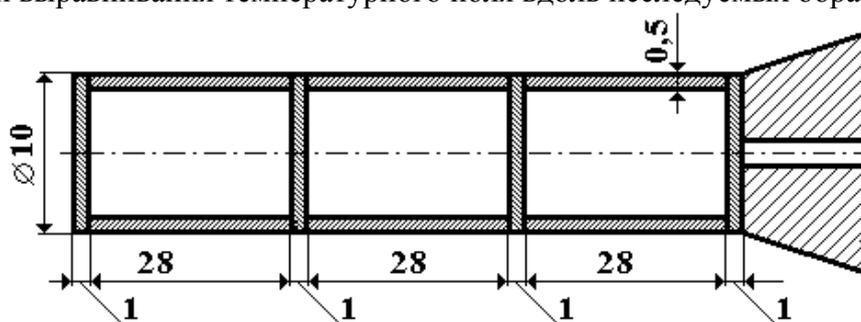


Рис. 1. Схема сборки цилиндрических образцов, подготовленных к стендовым испытаниям.

Измерение и регистрация температуры осуществлялась вольфрам – рениевыми термопарами, соединенными с потенциометром ПП-63 и самописцем КСП-4.

Система нагружения образцов внутриполостным давлением состоит из баллона 9 с аргоном, редуктора давления 10, мановакуумметра 12 и ресивера 11 для компенсации влияния температуры на внутриполостное давление газа. Резервуар 8 с цезием обеспечивал давление в рабочей камере порядка $(5 \dots 8) \cdot 10^2$ Па при температурах $1000 \dots 1700^\circ\text{C}$.

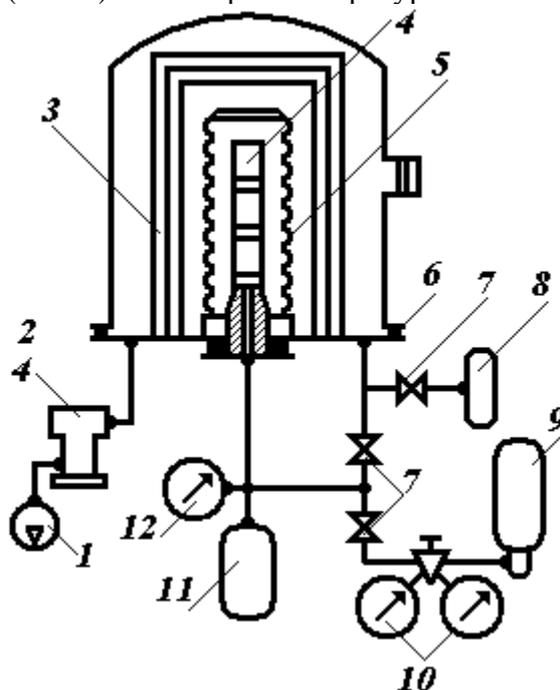


Рис. 2. Схема вакуумной части экспериментального стенда системы нагружения образцов внутриполостным давлением для испытаний эмиттерных оболочек на ползучесть: 1 – форвакуумный насос; 2 – паромасляный вакуумный агрегат; 3 – экраны; 4 – эмиттер; 5 - нагреватель; 6 – монтажный фланец; 7 – вентили; 8 – баллон с цезием; 9 – баллон с аргоном; 10 – редуктор; 11 – ресивер; 12 – мановакуумметр.

Сплав ВМЗ относится к группе стареющих сплавов, поэтому образцы подвергались закалке (2100°C) с последующим двухчасовым старением (1500°C), что привело к образованию в структуре карбидов $(\text{Zr}, \text{Ni})\text{C}$ с ГЦК решеткой, которые являлись эффективным упрочнителем при рабочих температурах [1, 2].

Результаты испытаний (таблица 1) длительной прочности сплава в различных состояниях (по результатам испытаний на ползучесть при температурах $1000 \dots 1700^\circ\text{C}$) показывают, что значения длительной прочности сплава в вакууме и в парах цезия примерно одинаковы до температуры 1300°C . При температурах свыше 1300°C ползучесть образцов, испытанных в цезии, значительно превышает ползучесть образцов, испытанных в вакууме. Во всем интервале исследуемых температур нет химического взаимодействия между молибде-

ном, ниобием, титаном, цирконием и цезием, но цезий может образовывать химические соединения с углеродом – C₂₄Cs [3].

Таблица 1.

Длительная прочность сплава ВМЗ (Mo – 1,2%; Nb – 1,12%, Ti – 0,53%, Zr – 0,30% по массе) в вакууме и в парах цезия.

| Состояние сплава | Температура испытания, °С | σ ₁₀₀ , МПа среднее значение при испытаниях | |
|--------------------------|---------------------------|---|------------|
| | | Вакуум | Пары цезия |
| Деформированное | 1 000 | 397 | 382 |
| Отожженное | 1 000 | 327 | 320 |
| Закаленное и состаренное | 1 000 | 421 | 416 |
| | 1 100 | 364 | 362 |
| | 1 200 | 348 | 336 |
| | 1 300 | 299 | 285 |
| | 1 500 | 101 | 82 |
| | 1 700 | 49 | 21 |

В работе [4] не выявлено коррозионного воздействия цезия на сплавы молибдена с малыми добавками титана (до 0,4%) и циркония (до 0,2%). Спектральный анализ показал наличие следов цезия в дефектах поверхностного слоя, но автордиография образцов показала наличие скоплений цезия или его соединений с углеродом в виде точечных объемов, расположенных вдоль границ зерен и в самом зерне. Соответственно при повышении температуры диффузия цезия в сплав возрастает, и количество выделений увеличивается, что, вероятно, и сказывается на снижении жаропрочности сплава.

Испытание на ползучесть образцов сплава в вакууме и в парах цезия показали более резкое уменьшение сопротивления деформации при температурах выше 1300°С, что по данным микроструктурного анализа было связано с коагуляцией частиц второй фазы и уменьшением их количества. Данные резистометрического и рентгеновского анализов показали увеличение степени перенасыщенности твердого раствора молибдена легирующими элементами за счет растворения их карбидов (таблица 2).

Таблица 2.

Ширина рентгеновской линии 110 (В) и электросопротивления (ρ) образцов сплава после испытаний на ползучесть при температурах 1 200 и 1 700°С

| Температура испытаний, °С | В ₁₁₀ , мм | | ρ, мкОм x см | |
|---------------------------|-----------------------|------------|--------------|------------|
| | Вакуум | Пары цезия | Вакуум | Пары цезия |
| 1 200 | 22,1 | 19,9 | 14,3 | 14,8 |
| 1 700 | 38,5 | 40,2 | 26,6 | 27,4 |

Проведенные исследования показали, что сплав ВМЗ обладает высокими жаропрочными свойствами в вакууме и в парах цезия при работе под нагрузкой при нагревании до температуры 1300°С за счет комплексного упрочнения (твердорастворного и дисперсионного). Повышение температуры испытаний приводит к уменьшению вклада упрочнения за счет частиц второй фазы и, соответственно, снижению жаропрочности.

Скорости ползучести образцов в вакууме и в парах цезия незначительно отличаются при температурах до 1300°С, но с повышением температуры увеличивается как диффузия цезия в сплав, так и образование по зернам и их границам довольно крупных включений цезия или его соединений (с углеродом), что понижает прочность сплава.

Во всех случаях прочность закаленных и состаренных образцов выше отожженных и деформированных.

В целом можно отметить, что жаропрочный сплав ВМЗ перспективен для изготовления из него катодов ТЭП, работающих под нагрузкой при нагревании до 1300°С в вакууме и в парах цезия.

Литература

1. Мальцев М.В., Металлография тугоплавких, редких и радиоактивных металлов и сплавов., Металлургия, М., 1971, 488 с.

- Третьяков В.И. Сплавы на основе тугоплавких металлов. Справочник по конструкционным материалам. Изд. МГТУ им. Н.Э Баумана, М., 2005, с. 416 ... 421.
- Элиот Р.П., Структуры двойных сплавов,. Металлургия, М., 1970, 312 с.
- Термоэмиссионное преобразование энергии. Сборник докладов на II Международной конференции по термоэмиссионному преобразованию энергии. Изд. АН СССР, 1969, М., с. 458 ... 463.

Особенности формообразования дисков газотурбинных двигателей из жаропрочных никелевых сплавов с применением физической модели жидкофазного спекания гранул

к.т.н., с.н.с. Бурлаков И.А.,
«НИИД», ФГУП ММП «Салют»

Опробование комплекса технологий изготовления модельных заготовок дисков ГТД методом жидкофазного спекания из гранул сплава ЭП741НП было проведено на трех капсулах массой 1,5 кг. Капсулы представляли собой контейнеры цилиндрической формы, заполненные гранулами сплава ЭП741НП размером от 50 - 160 мкм, заваренные в вакууме (остаточное давление 10^{-4} мм рт. ст.) после их термической дегазации и виброуплотнения.

Капсулы обрабатываются по трем технологическим схемам, включающим:

- жидкофазное спекание + горячее изостатическое прессование;
- горячее изостатическое прессование + жидкофазное спекание;
- горячее изостатическое прессование.

Для определения рациональных режимов жидкофазного спекания была разработана физическая модель жидкофазного спекания гранул жаропрочных никелевых сплавов [1].

Для изучения кинетики спекания порошковых жаропрочных никелевых сплавов фракций 100 –160 – 315 мкм использовалась свободная засыпка гранул в керамическую форму и предварительно спеченные (при температуре 1150°С) образцы. В первом случае усадка материала в форме контролировалась периодически, а во втором случае – осуществлялась непрерывная киносъемка. С помощью планирования экспериментов было получено уравнение регрессии для сплава ЭП741НП (X_1 – температура, X_2 – время спекания, X_3 – гранулометрический состав в интервале 45 – 315 мкм).

$$Y_{ЭП741НП} = 9,82 + 5,62X_1 + 0,87X_2 + 0,11 X_3,$$

где Y – изменение линейного размера ($\frac{\Delta l}{l}$).

Из уравнения видно, основными параметрами, влияющими на процесс жидкофазного спекания, являются температура и время спекания.

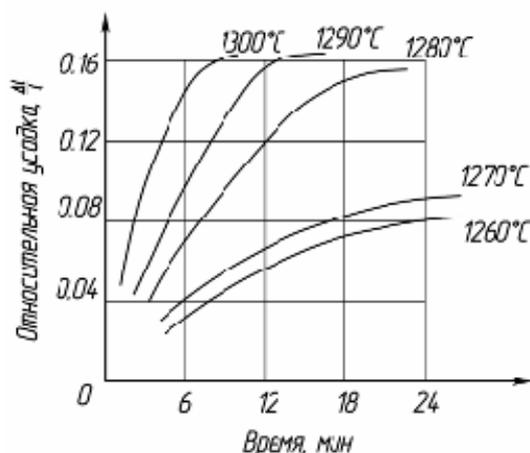


Рис. 1. Кинетика жидкофазного спекания гранул ЭП741НП

Результаты исследования кинетики спекания порошковых сплавов при непрерывном замере изменения линейных размеров показаны на рис. 2.