

СОЗДАНИЕ ДИФФУЗИОННЫХ БАРЬЕРОВ В ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЯХ НИКЕЛЬХРОМОВОГО СПЛАВА

Современная техника требует применения материалов, пригодных к длительной эксплуатации при высоких температурах. Нагревательные элементы печей сопротивления, радиационные трубы, ряд деталей газотурбинных двигателей работают в условиях постоянного воздействия горячих продуктов сгорания топлива.

В связи с повышением рабочих температур и увеличением продолжительности эксплуатации жаростойкость становится одним из важнейших свойств, определяющих ресурс работы узлов и агрегатов.

В настоящее время наиболее широкое применение для изготовления изделий, работающих при температурах до 1200°C , нашли никельхромовые сплавы.

Однако в процессе эксплуатации никельхромовых сплавов происходит обеднение поверхностных слоев легирующими элементами — хромом, титаном и алюминием. В результате поверхностные слои изделий разупрочняются, что вызывает преждевременное разрушение.

Для защиты деталей из никельхромовых сплавов от высокотемпературной газовой коррозии в промышленности широко применяется алитирование. Высокое сопротивление алитированных покрытий газовой коррозии и эрозии, хорошее сцепление с поверхностью, высокая стойкость против тепловых ударов позволяет увеличить ресурс работы изделий.

Во время эксплуатации алитированного никельхромового сплава происходит образование плотной окисной пленки, состоящей из окиси алюминия Al_2O_3 и шпинели NiAl_2O_4 , которая обладает хорошими защитными свойствами. Однако наряду с образованием плотной окисной пленки в процессе работы происходит диффузионное перераспределение алюминия из слоя в подложку, в результате чего концентрация алюминия в покрытии снижается, а следовательно, ухудшаются его жаростойкие свойства. Процесс рассасывания защитного алитированного покрытия протекает особенно интенсивно при температурах выше 1000°C . При температурах, превышающих 1000°C , раство-

римость алюминия в никелевом сплаве увеличивается и наблюдается исчезновение упрочняющей δ' -фазы.

Термодинамическое равновесие фазы на основе Ni_3Al , имеющейся в слое, и сплава нарушается, и слой начинает интенсивно рассасываться.

С целью увеличения высокотемпературной стабильности защитных покрытий в настоящее время проводятся интенсивные исследования в области создания диффузионных барьеров, тормозящих процесс миграции насыщающего элемента в подложку [1,2,3]. Среди элементов, эффективно замедляющих диффузию алюминия и никеля, особое место занимают тугоплавкие металлы - тантал и ниобий [3,4].

При создании диффузионного барьера необходимо наряду с "запирающими" свойствами промежуточного слоя обеспечить хорошее сцепление защитного слоя с подложкой, т.е. гарантировать стойкость защитного покрытия против тепловых ударов. С этой точки зрения содержание легирующего элемента в диффузионном барьерном слое должно быть ограничено.

В связи с тем, что в настоящее время в литературе практически отсутствуют данные по насыщению жаропрочных никельхромовых сплавов танталом, нами была исследована кинетика тантализации никельхромового сплава ЖС6К. Процесс тантализации проводился в порошках, в качестве активатора применялся хлористый аммоний. Для тантализации использовали смесь порошков при следующем соотношении компонентов: 20% Ta; 0,4% NH_4Cl ; 4% Ni; 4% Cr; Al_2O_3 - остальное.

Никель и хром, являясь менее электроотрицательными элементами по отношению к танталу, были введены в смесь для ограничения концентрации тантала в поверхностном слое и улучшения его диффузионной активности [4].

Тантализацию образцов из сплава ЖС6К проводили при температурах 900, 1000, 1100°C в течение 1; 3 и 6 часов. Качество диффузионного слоя оценивалось по состоянию поверхности, глубине слоя и микроструктуре.

Глубина диффузионной зоны является одной из наиболее важных характеристик слоя. Тантализация сплава ЖС6К приводит к формированию диффузионных слоев, которые после травления в реактиве, состоящем из 75 мл HCl , 75 мл этилового спирта и 15 г $CuSO_4$, выяв-

ляются в виде нетравящейся полосы, ограниченной от сердцевин. Локальный спектральный анализ подтвердил наличие тантала в белой нетравящейся полосе (рис.1).

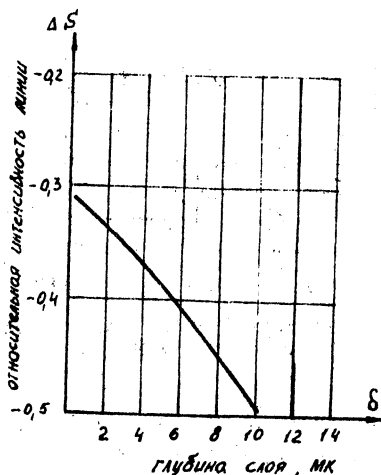


Рис.1. Зависимость относительной интенсивности линии от глубины диффузионного слоя после тантализации по режиму 1000°C, 3 часа

Зависимость глубины диффузионного слоя от времени подчиняется параболическому закону, а от температуры — экспоненциальному (рис.2). Повышение температуры изотермической выдержки вызывает соответствующее увеличение глубины слоя при часовом процессе от 0,1 мк при 900°C до 3 и 20 мк при 1000°C и 1100°C соответственно. При 3-часовой выдержке глубина диффузионного слоя увеличивается от 1 мк при 900°C до 10 мк при 1000°C и до 36 мк при 1100°C, а при 6-часовом процессе — от 2 мк при 900°C до 20 мк при 1000°C и до 50 мк при 1100°C.

Диффузионная зона, обогащенная танталом, представляет собой двухфазную область, состоящую из твердого раствора и интерметаллидов системы никель-тантал. С повышением температуры и увеличением продолжительности тантализации количество интерметаллидов увели-

чивается.

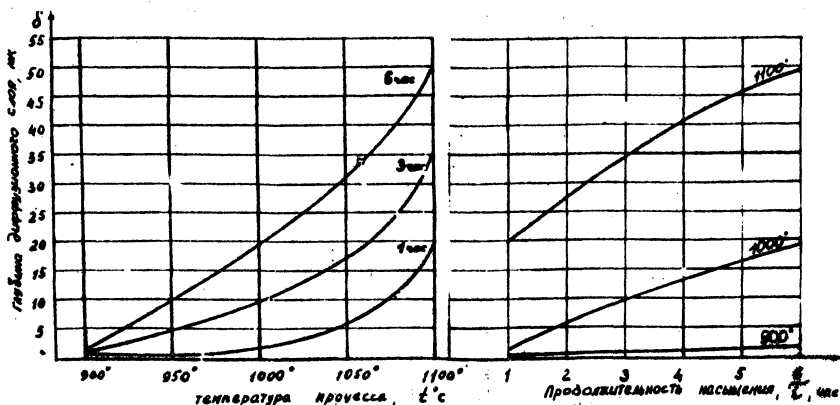


Рис.2. Влияние температуры и продолжительности процесса насыщения на глубину диффузионного слоя

Измерение микротвердости по глубине диффузионного слоя показало, что микротвердость зон, обогащенных танталом, не имеет существенного отличия от микротвердости сердцевины.

Образцы из сплава ЖС6К, предварительно подвергнутые тантализации по различным режимам, алитировали в смеси, содержащей 98% ферроалюминия (50% Fe, 50% Al) и 2% NH_4Cl , при 950 $^{\circ}\text{C}$ в течение 6 часов с последующим диффузионным отжигом на воздухе в течение 2 часов. При этом глубина алитированного слоя составляла 30–40 мк. Внешний вид и структура поверхностных зон, содержащих тантал, аналогичны диффузионным покрытиям на сплавах, не прошедших предварительную тантализацию.

Для сравнительной оценки работоспособности алитированных защитных покрытий с танталовыми барьерами были проведены испытания на рассасывание защитных слоев при термоциклическом воздействии на установке, предназначенной для исследования работоспособности защитных покрытий сопловых и рабочих лопаток автомобильного газотурбинного двигателя.

В модельной установке в качестве основного рабочего процесса принята схема "горячий образец - холодный газ". Исследуемый обра-

зец подвергался контактному электронагреву и действию скоростного газоздушного потока. Применяемая тиристорная схема позволяла задавать и поддерживать практически любой термоцикл, имитирующий разнообразные условия работы наземного газотурбинного двигателя.

Работоспособность диффузионных барьеров оценивалась по увеличению глубины защитного алитированного слоя в процессе термоциклической обработки, т.е. по величине рассасывания слоя.

Испытания проводили по следующей схеме: нагрев от 200 до 1050°C за 8 сек; выдержка при 1050°C - 30 сек; охлаждение до 200°C - 40 сек; количество циклов - 200.

Проведенные испытания показали, что эффективность действия диффузионных барьеров возрастает с увеличением глубины зоны, обогащенной танталом.

Максимальный эффект торможения процесса рассасывания защитного алитированного покрытия на сплаве ЖС6М получен при наличии диффузионного танталового подслоя глубиной 50 мк (табл. I).

Т а б л и ц а I

Скорость рассасывания покрытий

Вид покрытия	Глубина слоя до испытания, мк	Глубина слоя после испытания, мк	Увеличение слоя, %
Алитирование	35	70	100
Тантализация при 1100°C в течение 6 час+алитирование	40	50	25

Глубина рассасывания алитированного слоя с диффузионным танталовым подслоем уменьшается в 4 раза по сравнению с алитированным слоем, нанесенным без предварительной тантализации.

Таким образом, на основании проведенных исследований можно сделать вывод о значительном замедлении диффузионных процессов на границе покрытие - подложка с помощью диффузионных барьеров из тантала.

Л и т е р а т у р а

1. П а с с м о р Э. М. и др. Тугоплавкие металлы в новой технике. М., "Мир", 1969.
2. П о х м у р с к и й В. И., П и х В. С. "Физико-химическая механика материалов", 1971, № 5.
3. Б а б у ш к и н В. Н. и др. "Защита металлов", 1971, № 6, том УП.
4. Calmich P., Hivert, "Corrosion", 1969, 17, № 4, 185-191, 173.