

или нагрузки приводит к изменению износостойкости упрочненных сталей, что связано со значительными различиями в толщине слоев. При наиболее жестких условиях испытаний максимальной износостойкостью обладают никельхромированные стали. Очевидно, что для деталей, техническая документация которых разрешает эксплуатацию их при значениях линейного износа более 0,1 мм, наиболее целесообразно применение диффузионных слоев с возможно большей толщиной слоя.

Испытания на изнашивание при трении качения с проскальзыванием проводили на машине СМЦ-2. В табл. 1 представлены сравнительные данные по износостойкости разработанных типов диффузионных слоев. Необходимо отметить, что ужесточение условий испытаний (например, увеличение контактных нагрузок, увеличение числа циклов нагружения) снижает эффективность применения таких процессов диффузионного насыщения, как хромоникелирование и хромомарганцирование.

В результате исследования влияния процессов диффузионного насыщения на изменение коэффициентов трения установлено, что минимальными значениями коэффициента обладают хромосилицирование и хромомедненные диффузионные слои (табл. 2).

Испытания на коррозионно-механическое изнашивание проводили в промышленных условиях в среде окисленного циклогексана на втулках насосов типа NO100-26. Максимальной износостойкостью обладают хромотитанированные и никельхромированные слои (табл. 1).

Разработана промышленная технология диффузионного насыщения коррозионностойких сталей. Диффузионному упрочнению подвергается более 30 наименований деталей. Экономический эффект от внедрения в ГПО "Азот" более 200 тыс. руб.

УДК 621.785:536.3(031)

Л.А. ВАСИЛЬЕВ, канд.техн.наук,
И.Н. БУРНЫШЕВ,
И.В. АНОСОВ, канд.техн.наук (БПИ)

ИЗЛУЧАТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ СИЛИЦИДНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ТИТАНОВЫХ СПЛАВАХ

Имеющиеся справочные данные по излучательной способности материалов относятся в основном к однофазным материалам, например к окислам, карбидам и т.п. [1, 2].

Цель данной работы — исследование излучательной способности силицидных покрытий на титановых сплавах ВТ1-0, ОТ4 и ВТ14. Силицидные покрытия получали термодиффузионной обработкой сплавов в порошковой среде на основе кремния при непосредственном контакте насыщающей среды с насыщаемой поверхностью сплавов.

Насыщение в порошковых смесях осуществлялось в металлических тиглях, изготовленных из жаростойких сталей. Для предотвращения окисления насыщающей смеси и обрабатываемого сплава использовался плавкий затвор

из борного ангидрида, Перед упаковкой в тигель образцы из титановых сплавов подвергались травлению в течение 0,5–2 мин в реактиве следующего состава: 80 мл H_2O , 10 мл HF и 10 мл глицерина (или HNO_3).

Основным критерием выбора состава насыщающей смеси и температурно-временных параметров ХТО являлась толщина диффузионного слоя и качество поверхности после обработки.

Исследовались силицидные покрытия, полученные насыщением в трех средах: в порошке кремния, в порошке кремния с добавкой меди и в порошке кремния с добавками порошков меди и цинка. Во всех средах в результате насыщения на поверхности титановых сплавов формируются силицидные слои, состоящие из силицидов $TiSi_2$ и Ti_5Si_3 , легированных медью в случае ее наличия в насыщающей смеси.

Для исследования нормальной интегральной излучательной способности силицидных покрытий применялся радиационный метод, заключающийся в измерении нормальной интегральной энергетической яркости с одновременным измерением истинной температуры исследуемой поверхности.

Излучательная способность при этом методе определяется по формуле

$$\epsilon = (Q/Q_0)_T,$$

где Q , Q_0 – выходной сигнал радиометра при визировании его соответственно на исследуемую поверхность и на абсолютно черное тело с температурой T .

Для определения нормальной интегральной излучательной способности ϵ_n образец, представляющий собой пластину размером 30 x 30 x 1,5 мм с нанесенным на ней покрытием, закрепляется в водоохлаждаемых токоподводах и нагревается проходящим по нему электрическим током. Яркостная температура T_y образца измеряется яркостным оптическим пирометром с исчезающей нитью, интегральная энергетическая яркость измеряется радиометром.

Истинная температура поверхности T определяется из соотношения

$$T_\lambda^{-1} - T^{-1} = \lambda C^{-1} \ln(1 - R_\lambda)^{-1},$$

где λ – эффективная длина волны пирометра; C – константа; R_λ – коэффициент отражения.

Коэффициент отражения определяется методом модуляционной рефлеометрии [2] с использованием гелий-неонового лазера в качестве стороннего источника света и плазменно-напыленной окиси алюминия как эталонной поверхности.

Испытания образцов проводили поэтапно в интервале температур 700–1000–700 °С, т.е. применительно к реальным условиям эксплуатации изделий в летательных аппаратах.

В процессе работы силицидные покрытия будут изменять свой фазовый состав из-за окисления силицидов титана с образованием на поверхности окислов титана и кремния, а при легировании сплава или силицидных покрытий – и с образованием шпинелей сложного химического состава. Для учета этого изменения было проведено определение ϵ_n на образцах непосредственно после насыщения и после окисления в течение 5 ч при температуре 1000 °С.

Наиболее высокими значениями ϵ_n образцов без предварительного окисления характеризуются покрытия, полученные насыщением в порошках крем-

ния и в смеси его с медью и цинком. Значения ϵ_n при 1000 °С для этих систем равнялись 0,75. Покрытия, полученные насыщением в смесях порошков кремния и меди, на сплавах ОТ4 и ВТ14 имели меньшие значения ϵ_n , а на ВТ1-0 примерно те же значения.

Излучательная способность силицидных покрытий зависит от температуры испытаний: с повышением температуры с 700 до 1000 °С наблюдается повышение ϵ_n , с понижением температуры с 1000 до 700 °С ϵ_n понижается, но остается несколько выше, чем при первом измерении. Такое изменение излучательной способности объясняется изменением фазового строения силицидного слоя в процессе нагрева и выдержки при 1000 °С.

Полученные данные излучательной способности силицидных покрытий после предварительного окисления их при 1000 °С на воздухе свидетельствуют о некотором увеличении ϵ_n по сравнению с неокисленными образцами, особенно для покрытий, полученных насыщением в порошках кремния и меди. Разница в значениях ϵ_n , измеренной при 700 °С до и после нагрева до 1000 °С, не наблюдалась. Наиболее высокой излучательной способностью обладали покрытия, полученные при насыщении в смеси порошков кремния, меди и цинка ($\epsilon_n = 0,78$).

ЛИТЕРАТУРА

1. К р ж и ж а н о в с к и й Р.Е., Ш т е р н З.Ю. Теплофизические свойства неметаллических материалов. – М.: Энергия, 1973. – 333 с. 2. Излучательные свойства твердых материалов/Под ред. А.Е. Шейндлина. – М.: Энергия, 1974. – 471 с.

УДК 621.785.539

В.Ф. ПРОТАСЕВИЧ, канд.техн.наук (БПИ)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА "ПЕРЕВАЛА" ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Большинство задач химико-термической обработки (ХТО) многофакторно. При решении таких задач все чаще для поиска оптимальных составов и режимов ХТО применяют метод дробных реплик. Желание исследователей сократить эксперимент приводит к тому, что обычно используются реплики максимально возможной дробности. При этом оказывается невозможным оценить линейные эффекты в чистом виде, т.е. без смешивания их с эффектами взаимодействий. Такое влияние эффектов взаимодействия в конечном результате проявляется в том, что исследователь часто не может получить уравнение регрессии, а следовательно, и провести оптимизацию изучаемых свойств. Теория математического планирования эксперимента свидетельствует о том, что абсолютная величина коэффициентов регрессии получаемых моделей обратна их степени. Поэтому при определении коэффициентов линейной модели целесообразно исключить из их оценки в первую очередь эффекты парного взаимодействия, как наиболее сильные. Способом устранения парных взаимодействий служит так называемый "метод перевала".