

– определялось количество выбранных пикселей с помощью функции Measure scan objects;

– толщину исследуемого слоя на проволоке определяли по следующей формуле

$$h = r \cdot \left( \sqrt{1 + K_c / K_n} - 1 \right),$$

где  $h$  – толщина диффузионного слоя, мм;

$r$  – радиус сердцевины проволоки без диффузионного слоя, мм;

$K_c$  – площадь исследуемого слоя, pixels (точечные элементы изображения на экране монитора);

$K_n$  – площадь сердцевины проволоки без диффузионного слоя, pixels.

В результате основной принцип определения толщины диффузионного слоя на длинномере в виде проволоки состоит в вычислении отношения количества пикселей, приходящихся на диффузионный слой, к площади сердцевины проволоки без слоя.

При этом чувствительность выделения области для всех исследуемых микроструктур устанавливалась постоянным.

Таким образом, получен простой и легко воспроизводимый метод определения толщины борсодержащих диффузионных слоев на длинномерах в виде проволоки, имеющих иглоподобную структуру, с использованием отмеченного программного продукта.

### Литература

1. Салтыков, С.А. Стереометрическая металлография / С.А. Салтыков. – М.: Металлургия, 1970. – 375 с.

2. ДонНТУ. Официальный сайт [Электронный ресурс] / Авторефераты. Иванова К. Е. Оперативный анализ.

УДК 620.179.112

## **СТЕНДОВЫЕ ТРИБОХАРАКТЕРИСТИКИ СШП ИЗ СПЛАВА ВЖЛ16 ДЛЯ СТВОРОК ОТСЕКА ПОЛЕЗНОГО ГРУЗА ВКС «БУРАН» ПОСЛЕ ДИФФУЗИОННОГО ХРОМИРОВАНИЯ И АЛИТИРОВАНИЯ**

А.В. Беляков, канд. техн. наук, доц.  
ОАО «Всероссийский теплотехнический институт»  
(г. Москва, Российская Федерация)

Сферические шарнирные подшипники (СШП) применяются для компенсации неизбежных погрешностей сборки и пространственных деформаций соеди-

нений узлов транспортных машин. Среди большого количества тяжело нагруженных узлов трения скольжения на ВКС «Буран» использовались и СШП, которые устанавливались на створках отсека полезного груза и обеспечивали открытие и закрытие створок при нахождении корабля не только в открытом космосе, но и на воздухе, когда машина находилась на земле. Обеспечение требуемого ресурса и надежности СШП для створок отсека полезного груза было одной из важных задач авиационного триботехнического материаловедения, т.к. работа СШП проходила в экстремальных условиях: удельная нагрузка составляла до 226 МПа, диапазон температур составлял от  $-130$  до  $+500$  °С, среда – воздух или вакуум. Оценка работоспособности СШП, изготовленных из различных материалов с применением различных защитных покрытий, осуществлялась экспериментально на специальном стенде ПВТ-03 в МГТУ им. Н.Э. Баумана, созданного совместно с ВИАМ.

Сравнительные испытания проводились по различным режимам:

– общему режиму: в воздушной среде, как более активной при высоких температурах, температуре  $+250$  °С, соответствующей середине исследуемого интервала положительных температур; нагрузке, соответствующей средней удельной нагрузке 50 МПа как наименьшей из исследуемого интервала нагрузок; угле качательного движения  $\pm 10^\circ$  как минимальном из углов качаний, где наблюдается процесс нормального скольжения; периоде качательного движения 12.5 с, что соответствует частоте качаний 0.08 Гц. Испытания проводились на СШП Ш20 из сплава ВЖЛ16;

– режиму работы створок отсека полезного груза (СОПГ) космического корабля многоразового использования "Буран" в соответствии с циклограммой, по которой реализовывались удельные нагрузки 226 МПа в условиях воздуха и 80 МПа в вакууме. Температура испытания составляла 500 °С на воздухе и 120 °С в вакууме, угле качательного движения  $\pm 10^\circ$ . Испытания проводились на СШП Ш20 из сплава ВЖЛ16 (внутреннее кольцо подвергалось алитированию, а наружное имело покрытие (Ta+Ag+ВАП2);

– режиму работы узлов трения космического корабля многоразового использования «Буран»: среда вакуум, температура испытания 120 °С, угол качания  $\pm 10^\circ$ , удельные нагрузки 80 и 186 МПа, частота качания 0,08 Гц. Испытания проводились на подшипниках Ш20 из сплава ВЖЛ16. На внутреннее кольцо СШП наносили Ta или подвергали его алитированию (диффузионному хромированию), а на наружное кольцо наносили 3-слойное покрытие Ta+Ag+ВАП2. Повышение ресурса работы СШП с алитированными и хромированными внутренними кольцами обусловлено получением специфического состояния поверхностного слоя: его упрочнением (повышением микротвердости) за счет формирования слоя с упрочняющим фазовым составом, особой структурой микрорельефа поверхности, определяющей благоприятные характеристики опорных поверхностей, получением сжимающих остаточных напряжений на поверхности, что определяет усталостные и износные характеристики слоев.

Формирование после алитирования на внутренних кольцах СШП слоев с ячеистой структурой микрорельефа, а после диффузионного хромирования – фрагментированной структурой, позволяет заполнять пространство между ячейками или фрагментами твердой смазочной композицией (Ag+ВАП2), удаляемой в процессе работы с наружного кольца, и длительно удерживать твердосмазочную композицию в зоне фактического контакта, а также уменьшает возможность окисления  $\text{MoS}_2$  до  $\text{MoO}_3$  в материале ВАП2, что, в свою очередь, позволяет длительно сохранять антифрикционные свойства у СШП.

УДК 541.13

### **ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ АММИАЧНОГО ОТКЛИКА ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ДЕФЕКТОВ МЕТАЛЛА ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Н.Г. Березкина<sup>1</sup>, И.О. Лейпунский<sup>1</sup>, А.Н. Горбачев<sup>2</sup>, А.В. Беляков<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт энергетических проблем химической физики РАН,

<sup>2</sup>ОАО "Всероссийский теплотехнический институт"

(Москва, Российская Федерация)

Методы аммиачного отклика созданы на базе методов неразрушающего контроля, разработанных для контроля теплозащитных материалов, используемых в конструкции воздушно-космических самолетов типа «БУРАН». Эти методы начали применяться для выявления дефектов сплошности поверхности отдельных деталей энергетического оборудования в 1987 г., а их широкое внедрение на электрических станциях РАО ЕЭС России параллельно с разработкой технологии диагностики оборудования ТЭС на их основе началось с 1996 г.

В 1997 г. разработанная технология, получившая название ДАО–технология, вошла в состав сборника нормативных документов РД 34.17.МКС.007–97 для стареющих ТЭС. В последующие годы ДАО–технология входила в состав ряда сборников нормативно–технических документов (РД и СО) в новых редакциях. В 1998 г. РАО «ЕС России» был выпущен циркуляр № Ц–12–98(Т), в котором при проведении капитальных ремонтов турбин предписывалось контролировать повреждаемые зоны с помощью ДАО–технологии.

ДАО–технология не имеет ограничений, связанных со свойствами материалов, и ее можно использовать практически для любых материалов для обнаружения дефектов типа несплошности, имеющей выход на поверхность. ДАО–технология позволяет выявлять и документировать дефекты в контролепригодных для нормативных средств неразрушающего контроля зонах, повысить качество ремонтно–восстановительных работ за счет точного определения достаточности выборки трещиноподобных дефектов корпусов турбин, элементов проточного тракта турбин и арматуры.