

При этом погрешность расчетов не превышала 3 % по отношению к максимальному значению напряжений. Для более тонких поверхностных слоев ($a/\delta < 0,05$) не учитывали слагаемое с $f(a)$.

При этом

$$\frac{dm(a)}{da} = \alpha J_0 J_a (r + a) - \sin \alpha (J_0 + J_a) (r + a)^2 + \frac{1}{4} (2\alpha + \sin 2\alpha) (r + a)^3.$$

Следует обратить внимание на то, что величина и характер распределения остаточных напряжений в поверхностном слое зависят не только от технологических факторов (методов и режимов

обработки, вида, характеристик, состояния инструмента и др.), но и жесткости обрабатываемой заготовки. При обработке маложестких заготовок остаточные напряжения могут быть существенно меньше, чем при обработке заготовок большой жесткости. Более объективной характеристикой технологического процесса с точки зрения его влияния на напряженное состояние поверхностного слоя являются технологические начальные напряжения, которые не зависят от конструктивных особенностей и жесткости детали. Они являются характеристикой влияния собственно процесса обработки на напряженное состояние поверхностного слоя того или иного материала, а не конкретной заготовки.

УДК 621.825.3

В. А. ВАСИН, канд. техн. наук, Е. Н. ИВАШОВ, д-р техн. наук, П. С. КУЗНЕЦОВ, аспирант, С. В. СТЕПАНЧИКОВ, канд. техн. наук

Московский институт электроники и математики (технический университет)

E-mail: unims@miem.edu.ru

Устройства с бесконтактным магнитным взаимодействием для специального технологического оборудования

Рассмотрены функциональные устройства с бесконтактным магнитным взаимодействием, предназначенные для специального оборудования высоких технологий. Приведены методика и результаты расчетов механизмов на привносимые загрязнения микрочастицами износа в чистой вакуумной среде, что позволяет создавать рациональные конструкции функциональных устройств и оптимизировать параметры проектируемого сверхвысоковакуумного аналитико-технологического и технологического оборудования.

Functional devices with non-contact magnetic interaction are considered. These devices are intended for special-purpose hi-tech equipment. Mechanisms design procedure and calculation results for introduced contamination by wear microparticles in the pure vacuum medium which allows creating regular-style design of functional devices and optimizing characteristic of the super high vacuum analytical-and-processing and manufacturing machinery are described.

Ключевые слова: технологическое оборудование, сверхвакуумная установка, функциональные устройства

Key words: processing equipment, supervacuum plant, functional unit

Основными микроскопическими характеристиками поверхностей, используемых в высокотехнологичных производствах, являются [1]: элементный состав; распределение химических элементов по глубине; кристаллогеометрическая структура дальнего и ближнего порядка, дефектность структуры; локальные магнитные характеристики; данные о тепловых колебаниях поверхности. Эти характеристики взаимосвязаны и взаимообусловлены. Большинство из них определяются химической природой

атомов. Решающее влияние на основные свойства поверхности оказывает ее электронное строение. В основе закономерностей, которым подчиняются многие явления на поверхности, лежат элементарные взаимодействия валентных электронов.

Определение основных микроскопических характеристик поверхности и контроль за их изменением в результате каких-либо воздействий осуществляются с помощью специальных аналитических методов, из которых наибольшее распространение

получили методы электронной и ионной спектроскопии. Эти методы основываются на регистрации определенных изменений, происходящих в атомных слоях вещества в результате взаимодействия с зондом. Соответствующий пространственно-энергетический анализ возбужденных спектров и масс-спектров позволяет получить информацию практически о всех основных микроскопических характеристиках поверхности.

Высокотехнологичные процессы производства различных изделий связаны с формированием поверхности. Физические свойства, например, кристаллической структуры (содержание в ней дефектов, характер распределения примесей) определяются условиями на поверхности при нанесении элементарных слоев [2].

При анализе поверхности активных материалов, не допускающих контакта с воздушной средой, а также при изучении явлений адсорбции в оборудовании могут встраиваться системы для нанесения адсорбата. Эти системы, а также системы для очистки поверхности анализируемых объектов можно вынести во вспомогательную камеру, соединенную с основной через загрузочное шлюзовое устройство. Для перемещения объектов из одной камеры в другую, юстировки поверхностей относительно первичных пучков и анализаторов вторичной эмиссии, смены образцов, перемещения их с позиции на позицию необходимо применение различных функциональных механических систем — вводов движения в вакуум, вакуумных передающих и котирующих манипуляторов, передаточных механизмов и др. Для быстрой смены объектов в камерах без нарушения вакуумных условий применяют загрузочные шлюзовые устройства.

Особенностью применения различных механических систем в современном сверхвысоковакуумном оборудовании является учет привносимых загрязнений, генерируемых из узлов внешнего трения.

Одним из перспективных направлений развития функциональных механических систем для специального сверхвысоковакуумного аналитико-технологического и технологического оборудования высоких технологий является создание устройств с бесконтактным магнитным взаимодействием (УБМВ). Это позволяет снизить число узлов трения — источников генерации загрязняющих микрочастиц износа. Источниками генерации загрязняющих микрочастиц износа в УБМВ остаются только опорные узлы. В последних для передачи вращательного движения применяют шарикоподшипники, а для передачи поступательного движения — шариковые направляющие. И те, и другие являются источниками генерации загрязняющих микрочастиц износа.

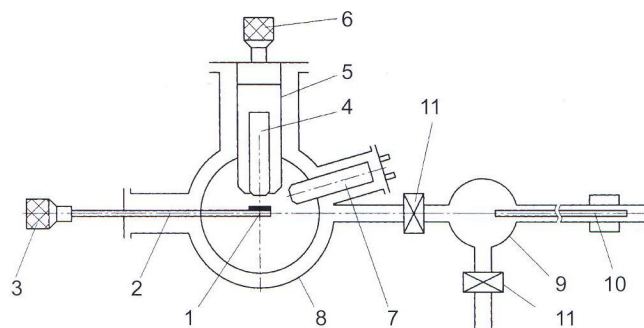


Рис. 1. Сверхвысоковакуумный растровый электронный Оже-спектрометр с послойным анализом: 1 — исследуемый образец; 2 — шток манипулятора юстировки образца; 3 — юстировочный манипулятор на основе УБМВ вращательного движения; 4 — электронная пушка; 5 — энергетический анализатор; 6 — манипулятор регулировки относительного энергетического разрешения анализатора; 7 — ионная пушка; 8 — аналитическая камера; 9 — камера загрузки; 10 — манипулятор загрузки образцов на основе УБМВ поступательного движения; 11 — шибберные затворы

Привносимые загрязнения, выделяемые из опорных узлов функциональных механических систем, ухудшают условия обнаружения примесей, снижают пространственное разрешение и т. д. при аналитических операциях и выход годных изделий электронной техники при проведении технологического процесса.

Типовая сверхвысоковакуумная установка электронного оже-спектрометра с послойным анализом приведена на рис. 1.

Установка имеет юстировочный манипулятор на основе УБМВ вращательного движения и манипулятор загрузки образцов на основе УБМВ поступательного движения.

При работе манипуляторов на основе УБМВ генерация загрязняющих микрочастиц износа сведена к минимуму, а количество и размеры микрочастиц, генерируемых из шарикоподшипников и шариковой направляющей, подсчитывают по приведенной ниже методике.

На рис. 2 приведена вакуумно-кинематическая схема установки для рентгенолитографии.

Привод анода установки должен работать с частотой вращения до 10 000 об/мин, создавать минимальные вибрации и не загрязнять вакуумный объем микрочастицами износа [3]. Этому наиболее полно удовлетворяют приводы на основе УБМВ.

Схемы работы загрузочного шлюзового устройства для аналитико-технологических и технологических модулей сверхвысоковакуумных комплексов молекулярно-пучковой эпитаксии приведены на рис. 3.

Загрузочное шлюзовое устройство содержит рабочую камеру 1, шибберные затворы 2, крышку люка 3, подложку 4, камеру загрузки 5, передающий

Если условие (1) не выполняется, то радиус фрикционного пятна контакта определяется из условия пластического контактного взаимодействия:

$$b = 1,4 \sqrt{\frac{\rho_k R_{\max}(2R - R_{\max})}{HV}}$$

где HV — микротвердость менее твердого материала рассматриваемой пары.

При работе шарикоподшипника изнашивание происходит в основном при контактом взаимодействии шариков с сепаратором.

Сила, действующая на сепаратор со стороны шарика,

$$P_c = \frac{F_r(1 - \cos^{3/2} \gamma)}{1 + 2 \cos^{5/2} \gamma + 2 \cos^{5/2} 2\gamma + \dots + 2 \cos^{5/2} z\gamma}$$

где F_r — радиальная нагрузка на шарикоподшипник; γ — угол между соседними шариками в шарикоподшипнике; z — число шариков, расположенных ниже горизонтальной оси шарикоподшипника.

Удельное давление в контакте шарик—сепаратор

$$P_k = P_c / D_w l_c,$$

где P_c — сила, действующая на сепаратор со стороны шарика; D_w — диаметр шариков; l_c — высота сепаратора.

Скорость скольжения во фрикционном контакте шарик—сепаратор

$$v_c = \frac{\pi n d_2}{60},$$

где n — частота вращения вала, на котором установлен шарикоподшипник; d_2 — наружный диаметр внутреннего кольца шарикоподшипника.

Номинальная площадь поверхности трения

$$S_H = 2D_w l_c Z_w,$$

где Z_w — число шариков в шарикоподшипнике.

При работе шариковой направляющей изнашивание так же, как и в шарикоподшипнике, происходит в основном при контактом взаимодействии шариков с сепаратором.

Сила, действующая на сепаратор со стороны шарика,

$$P_c = \frac{5}{Z_w} F_{r_k},$$

где Z_w — число шариков в направляющей; F_{r_k} — радиальная нагрузка на каретку.

Удельное давление в контакте шарик—сепаратор $p_k = P_c / D_w l_c$, здесь D_w — диаметр шариков; l_c — высота сепаратора.

Скорость скольжения во фрикционном контакте шарик—сепаратор

$$v_c = v_{пк} / 2,$$

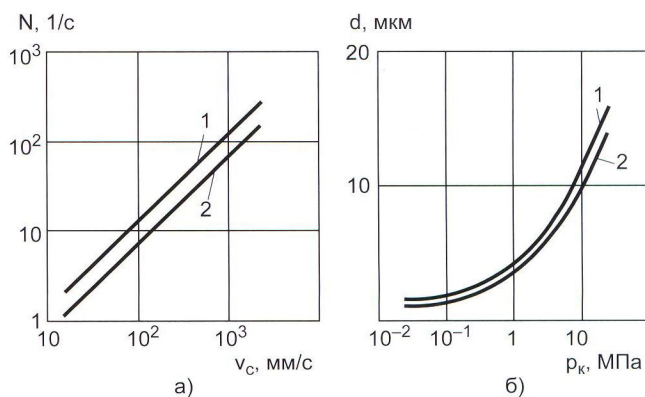


Рис. 4. Зависимость среднего количества N (а) и среднего размера d (б) образующихся микрочастиц от скорости скольжения v_c во фрикционном контакте для пар материалов: 1 — сталь 40X13 — сталь 40X13; 2 — сталь 45 — сталь 45

где $v_{пк}$ — скорость перемещения каретки.

Номинальная площадь поверхности трения

$$S_H = 2D_w l_c Z_w.$$

Средний объем микрочастиц износа, образовавшихся в результате работы опорных узлов УБМВ,

$$W = \frac{\pi}{2} \left(R - \sqrt{R^2 - b^2} \right) \left[b^2 + \frac{\left(R - \sqrt{R^2 - b^2} \right)^2}{3} \right].$$

Минимальное количество загрязняющих микро-частиц износа, образовавшихся в результате работы шарикоподшипника в единицу времени, можно записать в виде

$$N_{\min} = \frac{Nd}{L_k},$$

где $d = 2b$ — средний диаметр микрочастицы износа; L_k — путь трения.

Максимальные объем и диаметр микрочастиц износа определяют по формулам:

$$W_{\max} = \frac{WL_k}{d}; \quad d_{\max} = \frac{\sqrt[3]{6WL_k}}{\pi d}.$$

Зависимости среднего количества N и среднего размера d образующихся микрочастиц от скорости скольжения v_c во фрикционном контакте для пар сталь 40X13 — сталь 40X13, сталь 45 — сталь 45 приведены на рис. 4. При этом $p_k = 0,33$ МПа, вакуум $p = 1 \cdot 10^4$ Па.

Кроме герметичных УБМВ, применяют магнитные редукторные механизмы. Принципиально можно создать бесконтактный аналог практически любого редуктора с передачами зацеплением, что является актуальным в связи с появлением в промышленности новых магнитных материалов.

Результаты расчетов позволяют создавать рациональные конструкции УБМВ и оптимизировать параметры проектируемого специального высоко-технологичного аналитико-технологического и технологического оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Протопопов О. Д. Оборудование для контроля и анализа поверхности твердого тела методами электронной и ионной спектроскопии // Машиностроение. Энциклопедия. Технологии, оборудование и системы управления в электронном машиностроении Т. III-8 / Под общ. ред. Ю. В. Панфилова. М.: Машиностроение, 2000. С. 399—411.

2. Кратенко В. И. Перспективы развития физико-аналитического оборудования // Электронная промышленность. 1989. Вып. 7. С. 40—46.
3. Гревцев Н. В. Рентгенолиитография // Машиностроение. Энциклопедия. Технологии, оборудование и системы управления в электронном машиностроении. Т. III-8 / Под общ. ред. Ю. В. Панфилова. М.: Машиностроение, 2000. С. 137—152.
4. Ивашов Е. Н., Некрасов М. И., Степанчиков С. В. Исследование фрикционных характеристик твердосмазочных покрытий в вакууме // Органические полупроводниковые материалы. Пермь, 1986. Вып. 3. С. 175—181.
5. Гинзбург Л. Б., Федотов А. И. Проектирование электромагнитных и магнитных механизмов: Справочник. Л.: Машиностроение, 1980. 364 с.

УДК 631.3.02.004.67.003.1

И. Н. КРАВЧЕНКО, д-р техн. наук

(Российский государственный аграрный заочный университет),

М. Н. БУТКЕВИЧ, д-р техн. наук

(Российский государственный университет туризма и сервиса),

А. Ф. ПУЗРЯКОВ, д-р техн. наук

(МГТУ Н. Э. Баумана),

Е. М. БОБРЯШОВ, заместитель директора

(НИИ "Геодезия"),

А. А. КЛИМЕНКО, инж.

(Военно-технический университет при Федеральном агентстве специального строительства)

E-mail: bauman@bmstu.ru

Оценка надежности элементов технических систем методами физики отказов

Проблема повышения надежности и качества техники встает практически для любой отрасли индустрии, так как расширение производства запасных частей, несомненно, связано с увеличением материальных, трудовых и топливно-энергетических затрат. Предложена возможность оценки надежности элементов машин, в частности сохраняемости с использованием метода физики отказов.

Problem of machinery reliability and quality improvement is actual any branch of industry, as no doubt expansion of replacement part production is connected with material, labour and fuel-and-energy expenditure increase. A possibility of machinery components reliability evaluation, in particular of persistence using methods of failure physics, is suggested.

Ключевые слова: надежность, технические системы, метод физики отказов, моделирование

Key words: reliability, engineering system, methods of failure physics, modelling

В условиях технического прогресса вопросам обеспечения требуемой надежности сложных технических систем общего промышленного использования уделяется первостепенное внимание. Повышение уровня их надежности относится к основным инженерным задачам анализа, прогноза и выбора эффективных методов и

средств обеспечения высокой эффективности и безопасности эксплуатации в заданные гарантированные сроки службы [1, 2].

Статистические методы расчета и оценки надежности технических систем и изделий, в том числе и сохраняемости их элементов, основаны на использовании результатов длительных ис-

пытаний большого числа изделий. Недостаточность знаний о взаимосвязи показателей надежности элементов с физико-конструктивными характеристиками их материалов (с учетом влияния условий эксплуатации) крайне ограничивают применение статистических методов оценки надежности, делая при этом исследова-