

процессов можно совершенствовать управление логистической цепочкой создания добавочной стоимости и достичь эффекта в управлении качеством.

Представленное описание процесса реализации заказов на основе требований стандартов ISO серии 9000 обеспечивает выполнение заданной функции, реализуемой логистической системой в целом, а не отдельными ее элементами. Принцип системности предполагает исследование процесса, с одной стороны, как единого целого, а с другой стороны, как части более крупной системы, в которой анализируемый процесс находится в определенных отношениях с остальными процессами посредством входных и выходных потоков, представленных в модели. Кроме того, дополнение модели картой процесса интегрирует системный цикл улучшения (*PDCA*) в деятельность по выполнению логистических функций, включая их связь с производственными функциями.

Описанный выше подход может помочь предприятиям продвинуться от базового уровня сервиса к полному удовлетворению потребителей и далее – к концепции содействия успеху потребителей.

Список литературы: 1. ДСТУ ISO 9001:2009 Системи управління якістю. Вимоги (ISO 9001:2008, IDT). Введ. 01.09.2009. – К.: Держспоживстандарт України, 2009. – 23 с. 2. Корпоративная логистика. 300 ответов на вопросы профессионалов / под общ. ред. В.И. Сергеева. – М.: ИНФРА-М, 2005. – 976 с. 3. Ковалев А.И. Процессное описание технологической готовности производства / А.И. Ковалев, А.С. Зенкин // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2009. – №2. – С. 162-168.

Поступила в редколлегию 01.10.2010

УДК 621.317.321

И. В. КОМПАНИЕЦ, ассист., УИПА, г. Харьков

В. М. КОМОЛОВ, ассист., УИПА, г. Харьков

А. М. ШКИЛЬКО, канд. физ.-мат. наук, доц., зав. каф., УИПА, г. Харьков

ОЦЕНКА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ИЗМЕРИТЕЛЯ КОНТАКТНОЙ РАЗНОСТИ ПОТЕНЦИАЛОВ

Запропоновано аналітичне рівняння, що встановлює взаємозв'язок між чутливістю вимірювача контактної різниці потенціалів, побудованого за методом динамічного конденсатора і основними його геометричними й електричними параметрами, до яких належать амплітуда і частота коливань зонда, робоча площа зонда, відстань у статичному положенні між робочою поверхнею зонда і досліджуванним зразком, а також навантажувальний опір. Розглянуто основні причини зниження чутливості вимірювачів контактної різниці потенціалів і засобів його підвищення.

Предложено аналитическое уравнение, устанавливающее взаимосвязь между чувствительностью измерителя контактной разности потенциалов, построенного по методу динамического конденсатора, и основными его геометрическими и электрическими параметрами, к которым относится амплитуда и частота колебаний зонда, рабочая площадь зонда, расстояние в статическом положении между рабочей поверхностью зонда и исследуемым образцом, а так же нагрузочное сопротивление. Рассмотрены основные причины снижения чувствительности измерителей контактной разности потенциалов и способы ее повышения.

Введение. Одним из наиболее распространенных методов косвенного измерения важнейшей характеристики твердотельных объектов - работы выхода электрона, является метод Кельвина [1, 2]. Метод основан на измерении контактной разности

потенциалов (КРП), образованной между двумя материалами, находящимися в электрическом контакте. Метод нашел широкое применение для исследования качества поверхности конструкционных материалов после различных видов обработки.

Существует несколько подходов реализации измерителей КРП, все они отличаются способом детектирования зарядов с поверхности исследуемых образцов [3]. Наиболее удобным с точки зрения простоты реализации и функциональности является метод динамического конденсатора [4-6].

На сегодняшний день существует ряд принципиальных трудностей на пути создания законченного, методически корректного, и логически непротиворечивого метрологического обеспечения измерителя КРП (ИКРП), выполненного по методу динамического конденсатора.

Во-первых, это комплекс проблем, связанных с датчиком ИКРП. Разработчики опытных образцов, как следует из литературных источников, не уделяют должного внимания материалу, из которого изготавливается эталонный образец, его толщине, диаметру, форме и расстоянию между эталоном (зондом) и образцом. Взаимодействие эталона и образца – сложный и не решенный до конца на сегодняшний день вопрос.

Во-вторых, отсутствует математическая модель при помощи которой можно количественно оценить составляющие погрешности для различных типов ИКРП. Кроме того, нет единого перечня испытываемых и калибруемых параметров ИКРП. Понятно, что пока не будет разработан такой единый научно обоснованный документ, нельзя будет создать единую процедуру аттестации, испытаний и калибровки ИКРП.

В-третьих, это отсутствие аттестованных мер (контрольных образцов), адекватных характерным изменениям при помощи ИКРП величинам.

Цель работы. Установить взаимосвязь между параметрами динамического конденсатора и чувствительностью, а так же определить факторы, ограничивающие чувствительность и точность ИКРП.

Основная часть. В методе динамического конденсатора две плоскости электродов (измерительного зонда и исследуемого образца) параллельно расположенные друг от друга на расстоянии d_0 образуют плоский конденсатор, емкость которого модулируется колебанием одного из электродов (как правило измерительного зонда) с циклической частотой ω . В этом случае расстояние между пластинами динамического конденсатора будет изменяться согласно зависимости (при условии синусоидальных колебаниях электрода):

$$d(t) = d_0 + A \sin(\omega t), \quad (1)$$

где A – амплитуда колебаний.

Рассмотрим упрощенную эквивалентную схему динамического конденсатора, приведенную на рисунке 1.

Модуляция емкости C приводит к модуляции заряда q на электродах конденсатора и, следовательно, к образованию электрического тока в цепи, соединяющей электроды конденсатора, при этом на нагрузочном сопротивлении R возникает сигнал переменного напряжения $U_{\text{вых}}$.

Искомое значение КРП U_k определяется методом компенсации путем включения в электрическую цепь постоянного компенсирующего напряжения $U_{\text{ком}}$, тогда выходное напряжение $U_{\text{вых}}$ равно

$$U_{\text{вых}} = U_k - U_{\text{ком}}. \quad (2)$$

Напряженность электрического поля, создаваемая между электродами, можно представить в виде

$$E(t) = \frac{U_k - U_{\text{ком}}}{d(t)} = \frac{U_k - U_{\text{ком}}}{d_0 + A \sin(\omega t)}. \quad (3)$$

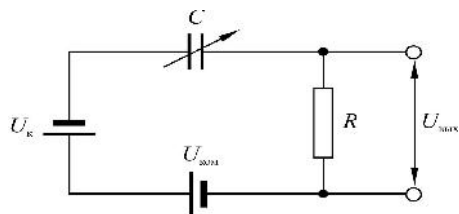


Рис. 1. Эквивалентная электрическая схема динамического конденсатора. Существует однородное электрическое поле:

Поверхностная плотность электрических зарядов σ определяется нормальной составляющей вектора \vec{E} :

$$\sigma(t) = \varepsilon_0 E(t), \quad (4)$$

где ε_0 – электрическая постоянная равная $8.85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$.

При этом предполагается, что между пластинами конденсатора

$$\sigma(t) = \varepsilon_0 \frac{U_k - U_{ком}}{d_0 - A \sin(\omega t)}. \quad (5)$$

Заряд на каждой пластине конденсатора с полезной площадью S равен:

$$q(t) = \sigma(t)S = \frac{\varepsilon_0 S (U_k - U_{ком})}{d_0 - A \sin(\omega t)} = \frac{\varepsilon_0 S}{d_0} \cdot \frac{U_k - U_{ком}}{1 + L \sin(\omega t)}, \quad (6)$$

где L – коэффициент модуляции равный $\frac{A}{d_0}$; $C_0 = \frac{\varepsilon_0 S}{d_0}$ – емкость динамического конденсатора в состоянии покоя (статическая емкость).

Тогда величину тока внешней цепи можно записать как:

$$I(t) = -\frac{dq(t)}{dt} = \frac{\varepsilon_0 S}{d_0} \cdot \frac{(U_k - U_{ком})L\omega \cos(\omega t)}{[1 + L \sin(\omega t)]^2} \quad (7)$$

или

$$I(t) = F(t) \cos(\omega t), \quad (8)$$

где $F(t)$ – периодическая функция с периодом $T=2\pi/\omega$.

Первая гармоника тока имеет частоту 2ω . Выходное напряжение $U_{вых}$, возникающее на сопротивлении R , будет равно:

$$U_{вых} = I(t)R = \frac{R(U_k - U_{ком})SL\omega}{d_0 [1 + L \sin(\omega t)]^2} \cdot \varepsilon_0 \cos(\omega t). \quad (9)$$

С учетом, что циклическая частота ω равна $\omega = 2\pi f$, а электрическую постоянную ε_0 можно записать, как $\varepsilon_0 = \frac{1}{4\pi(9 \cdot 10^9)}$, получаем измерительное уравнение

$$U_{вых} = \frac{R(U_k - U_{ком})SLf}{2d_0 [1 + L \sin(2\pi ft)]^2} \cdot \cos(2\pi ft) \cdot \frac{1}{9 \cdot 10^9}. \quad (10)$$

Уравнение (10) описывает электрическое состояние простейшей цепи с динамическим конденсатором и может быть использовано для моделирования поведения чувствительности ИКРП в зависимости от геометрических и электрических параметров.

На рисунке 2 приведены результаты моделирования, показывающие влияние геометрических параметров динамического конденсатора на его чувствительность. В первом случае исследовалась зависимость чувствительности при изменении междуэлектродного расстояния d_0 для фиксированных значений диаметра зонда d_z соответствующих $2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $3 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $4 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ и $5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$. Во втором случае приведена зависимость чувствительности ИКРП от амплитуды колебаний A и междуэлектродного расстояния d_0 .

Анализируя представленные на рисунке результаты можно сделать выводы, что при оптимальном выборе соотношений геометрических параметров можно максимально увеличить чувствительность ИКРП, однако на практике увеличение реальной чувствительности и точности измерений ограничивается паразитными явлениями, причиной возникновения и увеличения которых опять таки могут служить конструктивные особенности узла динамического конденсатора, применяемое регистрирующее устройство, а также свойства окружающей среды [7-9].

Рассмотрим основные причины снижения чувствительности и точности измерений для всех типов конструкций ИКРП, выполненных по методу динамического конденсатора.

Существенным источником погрешностей в ИКРП являются паразитные емкости. Причина их образования заключается в том, что зонд реагирует не только на емкостную связь с исследуемой поверхностью, но также с образованными емкостями между элементами, находящимися в непосредственной близости: провода, механические части, корпус и т. п. Вследствие колебания зонда модулируется паразитная емкость между зондом и окружающими электродами, что приводит к возникновению паразитного переменного сигнала. Ошибка может составлять десятые доли вольта. В ряде работ [10-12] были предприняты попытки провести анализ влияния паразитных емкостей и предложены способы их минимизации, однако все результаты существенно отличаются друг от друга и на сегодняшний момент нет единой методики оценки и исключения этой ошибки в результатах измерений.

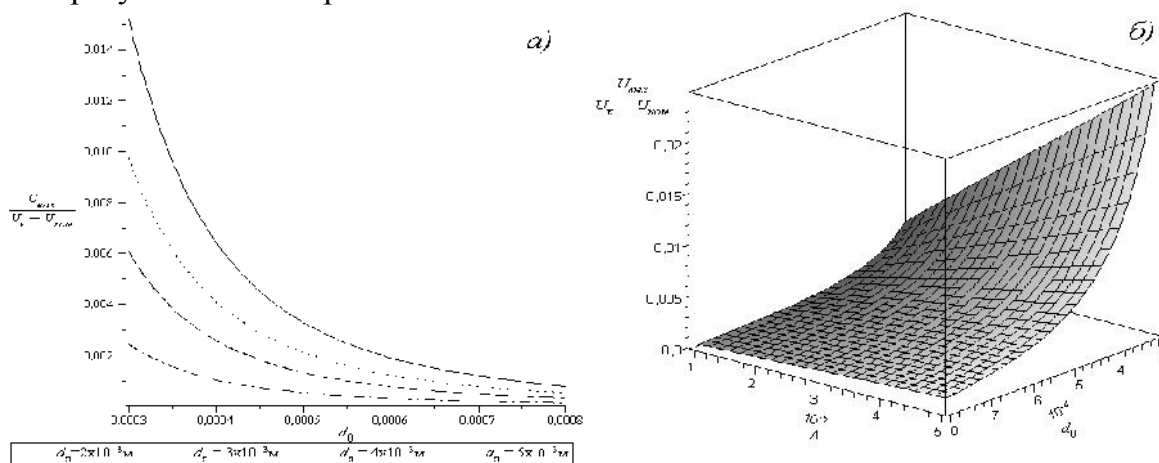


Рисунок 2. Оценка чувствительности динамического конденсатора при изменении: а) диаметра зонда d_3 и междуэлектродного расстояния d_0 ; б) амплитуды колебаний A и междуэлектродного расстояния d_0 .

Как известно, для улучшения разрешающей способности необходимо уменьшить рабочую поверхность зонда, однако при этом возрастает паразитная емкость краевого эффекта, образованная нерабочей поверхностью зонда и не контролируемые областями образца (см. рисунок 3). Емкость краевого эффекта зависит от геометрических характеристик зонда (его формы, площади нерабочей области), поверхности материала и его структурных состояний. Наиболее существенные значения краевого эффекта у зондов с малым диаметром равным сотым микрометра, используемых в сканирующей кельвин-зонд-микроскопии (Kelvin Probe Force Microscopy, KPFM) [13, 14].

В работе [15] рассмотрено влияние вредной емкости краевого эффекта и предложено уравнение для ее расчета:

$$C_n = \frac{1,113d_3}{8\pi} \left(\ln \frac{8\pi d_3}{d} - 3 + \left(1 + \frac{h_3}{d} \right) \ln \left(1 + \frac{h_3}{d} \right) - \frac{h_3}{d} \ln \frac{h_3}{d} \right) 10^{-12}, \quad (11)$$

где d_3 – диаметр рабочей поверхности зонда; h_3 – высота зонда токопроводящей поверхности.

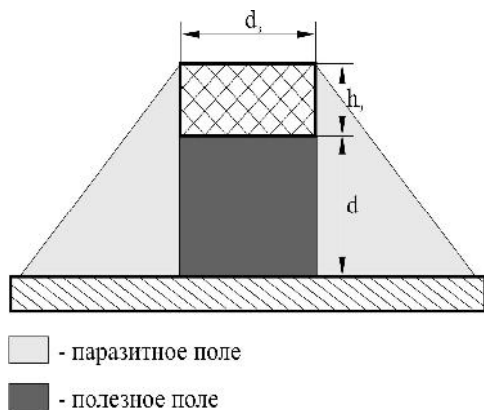


Рис. 3. Схема образования краевого эффекта

В настоящее время отсутствуют единые методика и надежные средства измерения для оценки и исключения влияния паразитной емкости краевого эффекта.

Еще одним важным фактором, ограничивающим чувствительность ИКРП, является дрейф электрофизических параметров рабочей поверхности зонда, который не подчиняется какому-либо закону и определяется сложными физико-химическими процессами, происходящими на поверхности. Причиной этому могут служить: адсорбция, загрязнения, химические реакции, изменения температуры окружающей среды, изменение структуры материала зонда вследствие старения и т. д. Даже химически малоактивные материалы, такие как золото, платина, тантал, прошедшие соответствующие режимы термической стабилизации поверхности могут иметь дрейф поверхностного потенциала до $5 \cdot 10^{-4}$ В в сутки [5].

Шумы электронной схемы регистрирующего устройства и тепловой шум входного сопротивления – еще один вид источников ошибок в ИКРП. В отличие от приведенных выше ошибок, данные погрешности имеют способы их исключения.

Выводы. Полученное измерительное уравнение (10) показывает, что чувствительность ИКРП с динамическим конденсатором жестко связана с его геометрическими и электрическими параметрами. Выбор оптимальных соотношений этих параметров дает возможность увеличить чувствительность динамического конденсатора. В свою очередь, влияние паразитных емкостей, краевой эффект, электрофизическая нестабильность материала зонда, тепловой шум входного сопротивления, шум электронной схемы регистрирующего устройства приводят к снижению чувствительности и точности измерений. На сегодняшний день отсутствуют оптимальные методы и средства учета и исключения большинства рассмотренных причин возникновения ошибок, что и будет предметом наших дальнейших исследований.

Список литературы: 1. Ривьере Х. Работа выхода. Измерения и результаты / Х. Ривьере // Поверхностные свойства твердых тел: сборник статей; под ред. М. Грина. – М.: Мир, 1972. – 432 с. 2. Царев Б. М. Контактная разность потенциалов / Царев Б. М. – М.: ГИТТЛ, 1955. – 280 с. 3. Компанеец И. В. Физические основы конденсаторных методов измерения контактной разности потенциалов / И. В. Компанеец // Вестник НТУ «ХПИ». Тематический выпуск «Автоматика и приборостроение», 2009. – №23. – С. 89-95. 4. Zisman W. A. A new method of measuring contact potential differences in Metals / W. A. Zisman // Rev. Sci. Instrum. – 1932. – №3. – р. 367-370. 5. Илюкович А. М. Техника электрометрии / А. М. Илюкович. – М.: Энергия, 1976. – 400 с. 6. Вудраф Д. Современные методы исследования поверхности. / Д. Вудраф, Т. Далчар; пер. с англ. Е. Ф. Шека под редакцией В. И. Раховского – М.: Мир, 1989. – 564 с. 7. Шкилько А. М. Экзоэмиссионная диагностика поверхности конструкционных материалов:

Из уравнения следует, что паразитный эффект возрастает с уменьшением диаметра зонда и с увеличением нерабочей поверхности зонда. Однако уравнение применимо, в случае если поверхность зонда однородна и отсутствуют элементы конструкции ИКРП в непосредственной близости от зонда, что на практике реализовать крайне трудно, поэтому приведенное уравнение не пригодно для расчета паразитной емкости краевого эффекта большинства ИКРП.

монографія / А. М. Шкілько. – Харків: Ноулідж, 2009. – 244 с. 8. *Baikie I. D.* Noise and the Kelvin method / *I. D. Baikie, S. Mackenzie, P. J. Z. Estrup, J. A. Meyer* // *Rev. Sci. Instrum.* – 1991. - №62(5). – P. 1326-1332. 9. *Rossi F.* Contact potential measurement: Spacing dependent errors / *F. Rossi* // *Rev. Sci. Instrum.* – 1992. - №63(9). – P. 4174-4181. 10. *Де Бур* Аналіз і удосконалення методу Кельвіна для вимірювання різностей робіт вихода / *Де Бур, Круземейер, Ясперс* // *Прибори для наукових досліджень.* – 1979. - №8. – С. 74-81. 11. *D'Arcy R. J.* The effects of stray capacitance on the Kelvin method for measuring contact potential difference. / *R. J. D'Arcy, N. A. Surplice.* // *J. Phys. D: Appl. Phys.* – 1970. – №3. – P. 482-488. 12. *Коротких В. Л.* Манипулятор для вимірювання контактної різниці потенціалів методом Кельвіна / *В. Л. Коротких, А. Д. Коринфський, А. Л. Мусатов* // *Прибори і техніка експеримента.* – 1977. - №2. – С. 211-212. 13. *Jacobs H. O.* Resolution and contrast in Kelvin probe force microscopy / *H. O. Jacobs, P. Leuchtmann, O. J. Homan, A. Stemmer* // *Journal of applied physics.* – 1998. – V. 84, №3. – P. 1168-1173. 14. *Rosenwaks Y.* Kelvin probe force microscopy of semiconductor surface defects / *Y. Rosenwaks, R. Shikler* // *Physical Review.* – 2004. – B70, №085320 – P. 1-6. 15. *Soonckind L.* Sur l'utilisation de la methode de Kekvin pour l'etude des travaux de sortie des surfaces inhomogenes / *L. Soonckind, J. Bonnet, L. Lassabatere* // *Revue de physique appliquee.* – 1979. – V. 14, №8. – P. 795-798.

Поступила в редколлегию 01.10.2010

УДК 621.993.2

О. Л. КОНДРАТЮК, канд. техн. наук, доц., г. Харьков

Ю. И. СЫЧОВ, канд. техн. наук, доц., г. Харьков

А. О. СКОРКИН, асс., г. Харьков, Украина.

О РАСЧЕТЕ СИЛ, ДЕЙСТВУЮЩИХ ПРИ НАРЕЗАНИИ РЕЗЬБЫ МЕТЧИКАМИ

У даній роботі приводиться узагальнений висновок, придатний для розрахунку сил, що діють при нарізанні різьби митчиками з різною геометрією.

В данной работе приводится обобщенный вывод, пригодный для расчета сил, действующих при резьбонарезании метчиками с различной геометрией.

Постановка задачи.

Одной из актуальных проблем на сегодняшний день в области обработки металлов является процесс нарезания резьбы метчиками. Сложность процесса обусловлена сложными процессами в зоне резания.

Обычно при анализе сил резания метчиками крутящий момент выражается формулами, полученными на основании частных зависимостей для определенных марок сталей. Эти данные являются разрозненными, и требуют дальнейшего изучения.

Основная часть

Метчики в основном испытывают деформацию кручения, поэтому задача сводится к нахождению количественной оценки крутящего момента от параметров обработки. Для нахождения вышеупомянутой зависимости исходили из физико-механической природы сил резания, которые разделили на две группы:

1. силы, действующие на передней поверхности, обусловленные процессом образования стружки;

2. силы, действующие на задней поверхности, обусловленные контактом инструмента с заготовкой по поверхности резания.

В соответствии с этим крутящий момент может быть представлен суммой

$$M=M_{п}+M_{з}$$