

## ВЛИЯНИЕ СИЛ ПРИЖАТИЯ ЭЛЕКТРОДА НА РАЗМЕР ИНФОРМАТИВНОЙ ЗОНЫ ПРИ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОМ КОНТРОЛЕ

*Звягина Е.А., Тупикин Д.А.*

*Ливенский филиал Орловского государственного университета имени И.С. Тургенева, Ливны*

**Ключевые слова:** термоэдс, контроль, электрод, контакт, прижатие, пятно контакта, толщинометрия, нагрев, термоэлектрические свойства, свойства металлов.

**Аннотация.** В статье рассмотрено влияние размеров нагретого электрода и усилия его прижатия на размер информативной зоны при термоэлектрическом контроле и показано, что посредством и изменения величины пятна контакта при контактном взаимодействии можно варьировать глубину прогрева изменяя размер зоны, участвующей в создании термоэдс.

## INFLUENCE OF ELECTRODE PRESSING FORCES ON THE SIZE OF THE INFORMATIVE ZONE IN THERMOELECTRIC TESTING

*Zvyagina E.A., Tupikin D.A.*

*Livny Branch of the Orel State University named after I.S. Turgenev, Livny*

**Keywords:** thermoelectric power, control, electrode, contact, pressing, contact spot, thickness measurement, heating, thermoelectric properties, properties of metals.

**Abstract.** The article considers the influence of the dimensions of the heated electrode and the force of its pressing on the size of the informative zone during thermoelectric control and shows that by changing the size of the contact spot during contact interaction, it is possible to vary the heating depth by changing the size of the zone involved in the creation of thermoelectric power.

Совершенствование неразрушающих методов контроля структуры и свойств металлов является одним из направлений, ведущих к повышению надежности и безопасности эксплуатации машин и механизмов, а также позволяет повысить их эффективный срок службы, за счет получения более точной информации о их состоянии. Термоэлектрические свойства металлов сильно связаны с изменениями механических и физических свойств металлов и в первую очередь с процессом накопления дефектов кристаллической решетки. В связи с этим термоэлектрический метод контроля является одним из перспективных.

При контроле методом контактирующих электродов в соприкосновение с телом приводится горячий электрод, производящий локальный нагрев некоторой области исследуемого объекта, в окрестности точки установки электрода. Возникающая при этом в цепи термо-ЭДС имеет составляющие, генерируемые в результате взаимодействия теплового поля, созданного в объекте с термоэлектрическими неоднородностями, находящимися в нагреваемой области. Большое значение при контроле имеет размер пятна контакта, поскольку в зависимости от размеров пятна контакта «электрод-покрытие» изменяется диапазон толщин покрытий, измерение которых возможно либо глубина залегания выявляемых дефектов. С возрастанием контактной площадки

нагреваемого электрода градиент температур распространяется на все более глубокие слои изделия, с уменьшением – смещается к поверхности. Соответственно перераспределяется вклад различных по глубине слоев металла в термо-ЭДС.

В работе [1] исследовалась глубина информативной зоны при термоэлектрической толщинометрии. Авторы приводят диаметры наконечников электродов и усилия прижатия для некоторых частных случаев контроля толщины покрытий. Приблизительные размеры информативной зоны ( $N$ , мкм) можно определить на основании графиков с результатами измерений [1] приведенных на рисунке 1. Границей информативной зоны необходимо считать такую толщину покрытия, при величине больше которой, значение измеряемой термо-ЭДС от толщины покрытия не зависит, то есть толщина покрытия при которой кривые на графике (рис. 1) становятся практически горизонтальными.

Недостатком вышеуказанной работы [1] является отсутствие анализа взаимосвязи площади контакта с условиями контроля.

Размеры пятен контакта определим, воспользовавшись решениями задачи Герца. Для частного случая статического сжатия упругих твердых шара и плоскости диаметр пятна контакта определяется по формуле [2]:

$$d = \sqrt[3]{\frac{3}{4}FD(v_1 + v_2)}, \quad (1)$$

где  $F$  – сила сжатия, Н;  $D$  – диаметр сферы, м;  $v_1, v_2$  – упругие характеристики первого и второго тела:  $v_i = 4(1 - \mu_i^2)/E_i$ ;  $E_i$  – модуль упругости  $i$ -го тела;  $\mu_i$  – коэффициент Пуассона  $i$ -го тела.

Напряжения на контактной площадке определяются по формуле:

$$\sigma_k = 4F/\pi d^2. \quad (2)$$

Материал наконечника электрода – сталь, материал покрытия – никель. Поскольку эти металлы имеют близкие механические свойства, примем:  $E_{1,2} = 2 \cdot 10^5$  МПа,  $\mu_i = 0,3$ .

В таблице 1 приведены результаты экспериментов из [1] и расчетов по формулам (1), (2).

Табл. 1. Результаты экспериментов [1]

№	$F$ (Н)	$D$ (мм)	$N$ (мкм)	$d$ (мкм)	$\sigma_k$ (МПа)	$N/d$
1	0,2	0,1	≈50	8,04	3937,96	6,22
2	2	0,5	≈200	29,6	2901,5	6,76
3	2	5	>300	63,825	625,11	-

Определим отношение размеров информативной зоны ( $N$ ) к диаметру пятна контакта ( $d$ ). Значение  $N_3$  неизвестно, по этому определим  $N_3/d_3$  как среднее по двум первым электродам:  $k_3 = (k_1 + k_2)/2 = (6,22 + 6,76)/2 = 6,49$ . При этом  $N_3 = d_3 \cdot k_3 = 63,825 \cdot 6,49 = 414 \text{ мкм} > 300$ , т.е. расчетное значение соответствует данным из [1].

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы:

1. Диаметр пятна контакта является важным параметром условий контроля, поскольку позволяет предварительно определить напряжения в контакте между электродом и поверхностью. Указанное напряжение не должно превышать допустимых значений, иначе произойдет повреждение поверхности, и контроль нельзя будет считать неразрушающим.

2. Зависимость между диаметром пятна контакта и размером информативной зоны является практически линейной, следовательно, изменение размера пятна контакта позволяет регулировать размер информативной зоны посредством вариации параметров в формуле (1). Изменять размеры информативной зоны можно как дискретно, изменяя диаметр сферы наконечника электрода, так и непрерывно, варьируя усилие прижатия электрода к исследуемой поверхности [3].

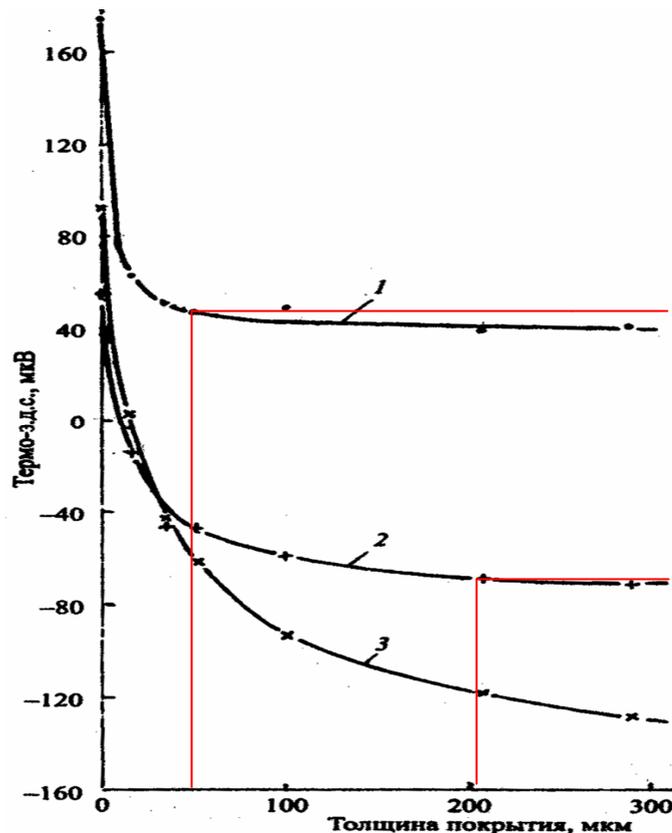


Рис. 1. Зависимость термо-ЭДС от толщины покрытия при различных диаметрах электродного окончания [1]: 1 – стальная закаленная игла с диаметром окончания 0,1 мм, усилие прижатия 0,5Н; 2 – стальной закаленный шарик диаметром, 0,5 мм, усилие прижатия 2Н; 3 – стальной закаленный шарик диаметром, 5 мм, усилие прижатия 2Н

В качестве примера практической значимости полученных результатов можно привести следующее. В рассматриваемой работе [1] предлагается использовать для изменения размеров информативной зоны электроды различных диаметров. Однако для изменения размеров пятна контакта достаточно при постоянном диаметре сферы наконечника электрода изменять нагрузку. В частности для электрода  $D = 1$  мм и при изменении нагрузки от 0,05Н до 10Н диаметр площадки контакта  $d$  изменяется от 10,91 мкм до 63,82 мкм. При этом наибольшие контактные напряжения составят  $\sigma_k = 3125$  МПа т.е. не

превышают напряжений для первого электрода из таблицы 1. Таким образом, изменением нагрузки можно заменить три вышеуказанных электрода одним.

#### **Список литературы**

1. Лухвич А.А., Каролик А.С., Шарандо В.И. Изменение глубины информативной зоны при термоэлектрической толщинометрии. // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 1999. – Т. 65, №5. – С. 35-36.
2. Пинегин С.В. Контактная прочность в машинах. – М.: Машиностроение, 1965. – 192 с.
3. Тупикин Д.А. Размер информативной зоны при термоэлектрическом контроле // Фундаментальные и прикладные проблемы технологии машиностроения – Технология – 2002. Материалы Международной дистанционной научно-технической конференции. – Орёл, 2002. – С. 363-364.

#### Сведения об авторах:

*Звягина Елена Александровна* – к.т.н., доцент кафедры инженерного образования;

*Тупикин Дмитрий Александрович* – к.т.н., доцент кафедры инженерного образования.