

В. С. ПРЕДМИРСКИЙ¹, к. т. н. Н. Г. ТВЕРДОХЛЕБ²

Украина, г. Киев, ¹НИИ «Орион», ²Государственный университет телекоммуникаций
E-mail: ndiorion@tsua.net

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КЕРАМИЧЕСКИХ ОПОР ЗАМЕДЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ЛБВ

Определен перечень технологических параметров и режимы механической обработки керамических опорных стержней для ламп бегущей волны. Разработанная система экспериментов позволяет определять данные, необходимые для расчета прочности сцепления (за счет прослойки жидкости) стержня в процессе механической обработки.

Ключевые слова: лампа бегущей волны (ЛБВ), опорные стержни, керамика, пористость, механическая обработка, сила трения, сила молекулярного прилипания, смачивание.

Повышение выходной мощности широкополосной лампы бегущей волны (**ЛБВ**) связано с тепловой устойчивостью ее замедляющей системы (**ЗС**). Поскольку теплопроводность керамических стержней существенно зависит от степени пористости керамики, для сборки замедляющих систем важно отобрать опорные стержни с невысокой пористостью. В [1] предложено решение, позволяющее в процессе шлифовки осуществлять автоматическую отбраковку некачественных, с точки зрения пористости, стержней. Суть этого решения заключается в следующем. Стержень удерживается в оправке для шлифования силами молекулярного сцепления с прослойкой охлаждающей жидкости между стержнем и оправкой. Поскольку на эти силы влияет пористость керамики, параметры режимов шлифовки подбираются такими, чтобы усилия, возникающие при шлифовке, сбрасывали с оправки стержни с недопустимо высокой пористостью, а качественные удерживались на оправке.

В настоящей работе определена система технологических параметров, обеспечивающих шлифование керамических опорных стержней с заданной точностью, а также получены соотношения, позволяющие количественно оценивать прочность прилипания стержня к поверхности оправки.

Определяющими формулами, на основе которых можно судить о прочности крепления опорного стержня к оправке для шлифовки, являются [1]

$$T_{zy} = T_{ш} \left(1 - \frac{h_{ш}}{a} \right) - \mu_{oc} \left(\sqrt{2 \frac{h_{ш}}{a} T_{ш}} + Q \right) \sin ; \quad (1)$$

$$\begin{aligned} T_z &= Q \cos \beta + 2 \frac{h_{ш}}{d} T_{ш}^{(1)} = \\ &= Q \cos \beta - 2 \frac{h_{ш}}{d} T_{ш} \left(1 - \frac{h_{ш}}{a} \right). \end{aligned} \quad (2)$$

Для использования этих формул для расчетов необходимо проанализировать, какие величины следует задавать, а какие определять экспериментально.

Заданными величинами считаются глубина шлифования $h_{ш}$, радиус круга шлифования a , угол наклона β плоскости контакта стержня с оправкой к плоскости горизонта, длина стержня d и его вес Q . Неизвестными являются коэффициент сухого трения керамики и стали μ_{oc} , усилие шлифования $T_{ш}$, сила трения стержня о смачиваемую поверхность контакта T_{zy} , нормальное усилие T_z (усилие молекулярного прилипания стержня к поверхности оправки в предположении, что между ними имеется весьма тонкая прослойка воды или охлаждающей жидкости) (**рис. 1**).

При выполнении технических расчетов вводятся системы отсчета, которые являются наиболее удобными. При плоском шлифовании, о котором идет речь, система отсчета выбирается так, как это изображено на **рис. 2**. Относительно нее обычно и задаются составляющие силы резания при шлифовании. Для вычисления этих составляющих можно использовать ряд формул [2–4]. Ниже приводятся лишь те формулы, которые относятся к шлифованию керамики.

Измерение сил, возникающих при шлифовании, можно проводить различным путем [2]:
— по расходуемой мощности;

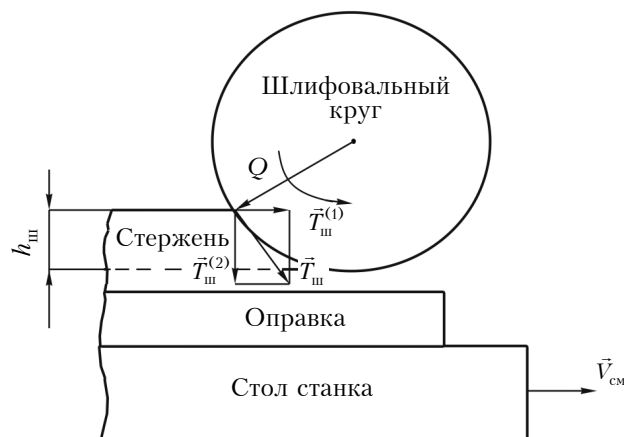


Рис. 1. Схема сил, действующих на стержень в начальный момент шлифования

— по жесткости и упругой системе «деталь — шпиндельная головка»;

— по измеренной упругой деформации.

Если известна расходуемая мощность, то имеет место формула для определения составляющей силы резания P_z (рис. 2) [2]:

$$P_z = 102N\eta_{\text{э}}\eta_{\text{ст}}/V_{\text{к}}, \quad (3)$$

где N — мощность, измеряемая ваттметром, кВт;

$V_{\text{к}}$ — скорость резания, м/с;

$\eta_{\text{э}}$, $\eta_{\text{ст}}$ — КПД электродвигателя и станка соответственно.

Из рис. 1 и 2 легко убедиться, что $P_z = T_{\text{ш}}^{(2)}$, и тогда, поскольку $T_{\text{ш}}^{(2)} = T_{\text{ш}} \cos \delta$, где $\cos \delta \cong \sqrt{2h_{\text{ш}}/a - h_{\text{ш}}^2/a^2} \cong \sqrt{2h_{\text{ш}}/a}$, можем записать

$$T_{\text{ш}} = \frac{1}{\cos \delta} P_z = P_z \sqrt{\frac{a}{2h_{\text{ш}}}}.$$

Таким образом, имеем приближенную формулу для определения усилия шлифования применительно к рассматриваемой задаче:

$$T_{\text{ш}} \cong \sqrt{\frac{a}{2h_{\text{ш}}}} \frac{102N\eta_{\text{э}}\eta_{\text{ст}}}{V_{\text{к}}}. \quad (4)$$

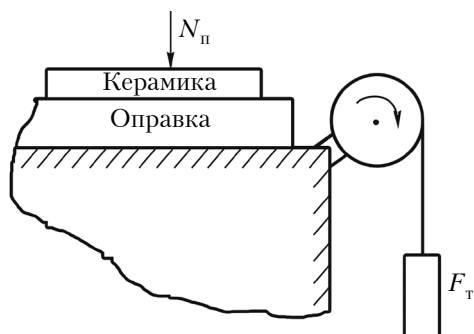


Рис. 3. Принципиальная схема эксперимента по определению силы трения

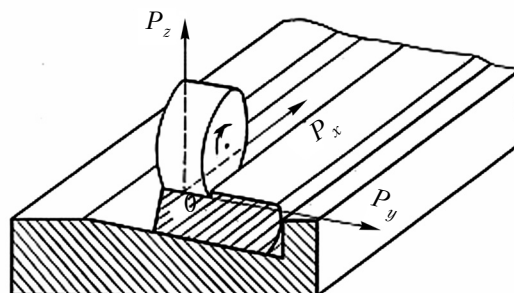


Рис. 2. Схема системы отсчета при плоском шлифовании

Приведем формулы, на основе которых можно определять остальные величины, входящие в основные соотношения (1), (2).

Исходя из фундаментальной формулы Д. В. Дерягина, сила трения определяется как [4, 5]

$$F_{\text{т}} = \mu(N_{\text{о}} + N_{\text{п}}), \quad (5)$$

где μ — коэффициент трения;

$N_{\text{о}}$ — сила молекулярного прилипания;

$N_{\text{п}}$ — сила прижатия образца (рис. 3).

По экспериментальным данным строится зависимость $F_{\text{т}} = f(N_{\text{п}})$, аналогичная показанной на рис. 4. На основе ее анализа можно получить следующую информацию:

а) для случая когда поверхность контакта керамики и оправки сухая, получаем коэффициент сухого трения $\mu_{\text{ос}}$, входящий в полученную эмпирическим путем формулу (1):

$$\mu_{\text{ос}} = \operatorname{tg} \alpha_0; \quad (6)$$

б) для случая когда указанная поверхность контакта смочена охлаждающей жидкостью, можно вычислить силу трения $F_{\text{т}}$ и, разделив ее на площадь контакта $S_{\text{к}}$, найти удельное значение силы трения

$$P_{\text{т}} = F_{\text{т}}/S_{\text{к}}; \quad (7)$$

в) зная $P_{\text{т}}$, можно вычислить величину T_{zy} , входящую в формулу (1):

$$T_{zy} = P_{\text{т}} F_{\text{т}}; \quad (8)$$

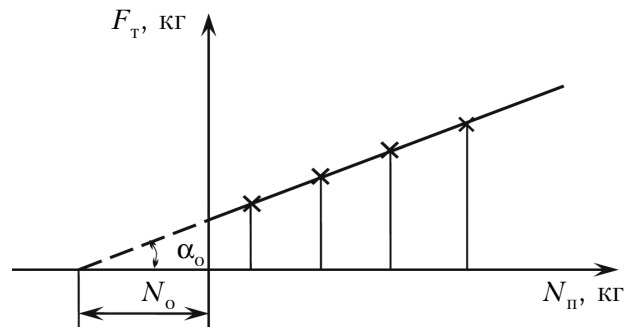


Рис. 4. Зависимость силы трения от силы прижатия образца

г) экстраполируя согласно Д. В. Дерягину график зависимости $F_T = f(N_{\text{п}})$ в область отрицательных значений $N_{\text{п}}$, получим силу прилипания N_o , затем удельную силу прилипания $P_{\text{пр}} = N_o / S_{\text{обр}}$ и далее нормальное усилие T_z , входящее в формулу (2):

$$T_z = P_{\text{пр}} F_T. \quad (9)$$

Таким образом, приведена система необходимых экспериментов и формул, позволяющая рассчитывать прочность соединения стержня с оправкой.

Для определения коэффициентов трения керамики по стали для сухих и смоченных жидкостью поверхностей были проведены соответствующие эксперименты с использованием дискообразных кольцевых образцов из керамики и стали. Образцы в испытательной машине были размещены на одной оси вращения, причем один из образцов оставался неподвижным, а второй прижимался к первому специальным устройством до тех пор, пока величина крутящего момента не преодолевала силу трения покоя.

На рис. 5, а приведен полученный экспериментально график зависимости силы трения от уси-

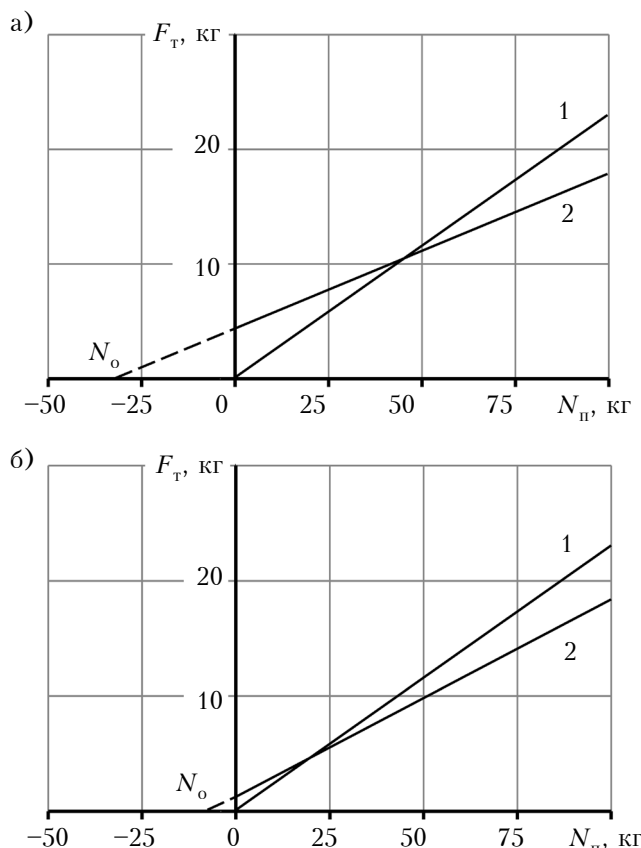


Рис. 5. Графики зависимости силы трения от усилия прижатия дискообразных образцов, полученные при первичном (а) и повторном (б) экспериментах: 1 — контактирующие поверхности сухие; 2 — смочены водой

лия прижатия (величины входят в формулу (5)) на начальном этапе, т. е. когда контактные поверхности обильно смочены водой (кривая 2), и для сравнения — график, полученный при тех же усилиях прижатия без смачивания (кривая 1). Из этих графиков определяем угол α_o , а затем и коэффициент трения керамики на сухой и смоченной поверхностях оправок из стали в соответствии с формулой (6): $\mu_{\text{ос}} \approx 0,2$; $\mu_{\text{смоч}} \approx 0,127$.

Из графика также определим силу прилипания применительно к рассматриваемым образцам: $N_o = 29$ кг. Поскольку внутренний (d_1) и внешний (d_2) диаметры дискообразных кольцевых образцов равны, соответственно, 3,6 и 4,0 см, площадь контакта будет равна

$$S_k = \frac{\pi}{4} (d_2^2 - d_1^2) \approx 2,39 \text{ см}^2.$$

Теперь можем определить удельное значение силы прилипания:

$$P_{\text{пр}} = N_o / S_k \approx 12,1 \text{ Н/см}^2.$$

В конце проведения первого эксперимента вода была почти полностью вытеснена из области контакта. После этого усилие прижатия снижалось, а образец некоторое время оставался в испытательной машине, после чего проводилось повторное испытание. Его результаты представлены на рис. 5, б. Сопоставление приведенных здесь графиков показывает, что даже при минимальном количестве жидкости в плоскости контакта сила трения в среднем на 8% меньше, чем при сухом контактировании, а сила прилипания меньше почти в 6 раз. Это объясняется наличием микропор в керамике, в которых сохраняется охлаждающая жидкость (вода). То есть непрерывное смачивание поверхности контакта позволяет при определенном уровне прижатия обеспечивать прилипаемость керамики к стальной оправке (см. рис. 5, а).

Таким образом, определен перечень технологических параметров и режимов механической обработки керамических опорных стержней, требующих экспериментального определения, а также параметров, которые должны быть заданы. Применение полученных экспериментальных данных позволяет повысить точность изготовления керамических опор и снизить возможность попадания опор с недопустимо высокой пористостью на сборку замедляющих систем спиральных ЛБВ и тем самым существенно увеличить процент выхода годных устройств.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Предмировский В. С., Твердохлеб Н. Г., Бондарчук А. П. Физико-математическая модель технологического процесса изготовления элементов замедляющей системы ЛБВ // Всеукр. межведомств. науч.-техн. сб. «Радиотехника». — 2008. — Вып. 155. — С. 196 — 202.

2. Хрульков В. А., Тародей В. А., Голевань Н. Я., Бук Ю. М. Механическая обработка деталей из керамики и металлов. — Саратов: Изд-во Саратовского университета, 1975.

3. Справочник технолога-машиностроителя. — Москва: Машиностроение, 1969.

4. Лурьев Г. В. Шлифование металлов. — Москва: Машиностроение, 1985.

5. Крачельский И. В., Виноградова И. Э. Коэффициенты трения. — Москва: Матиа, 1955.

6. Абрикосова И. И. Исследование сил молекулярного притяжения между твердыми телами // Автореф. ... дисс. канд. техн. наук. — Москва: Институт физической химии АН СССР, 1955.

7. Маслов Е. Н. Основы теории шлифования металлов. — Москва: Матиа, 1951.

Дата поступления рукописи
в редакцию 27.01 2017 г.

В. С. ПРЕДМИРСЬКИЙ¹, к. т. н. М. Г. ТВЕРДОХЛІБ²

Україна, м. Київ, ¹НДІ «Оріон», ²Державний університет телекомунікацій

E-mail: ndiorion@tsua.net

ОЦІНЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ВИГОТОВЛЕННЯ КЕРАМІЧНИХ ОПОР СПОВІЛЬНЮЮЧОЇ СИСТЕМИ ЛБХ

У процесі випробування ламп біжучої хвилі встановлено пряму залежність теплопровідності сповільнюючої системи від точності виготовлення і пористості керамічних опорних стрижнів. Це дозволило визначити необхідність підвищення точності їх виготовлення і відбраковування по пористості.

В роботі вирішено задачу кріплення керамічних стрижнів в процесі їх оброблення за допомогою охолоджуючої рідини замість клейового прошарку.

Визначено перелік технологічних параметрів і режимів механічного оброблення опорних стрижнів, утримуваних силами молекулярного зчеплення. Розроблена система експериментів дозволила визначати параметри обробки, необхідні для розрахунку міцності зчеплення (за рахунок прошарку рідини) керамічного опорного стрижня з оправкою в процесі механічного оброблення.

Ключові слова: лампа біжучої хвилі (ЛБХ), опорні стрижні, кераміка, пористість, механічна обробка, сила тертя, сила молекулярного прилипання, змочування.

DOI: 10.15222/TKEA2017.1-2.03

V. S. PREDMIRSKYI¹, Ph.D. N. G. TVERDOHLEB²

UDC 621.385.632.12

Ukraine, Kyiv, ¹Research institute "Orion", ²State university of telecommunications

E-mail: ndiorion@tsua.net

EXPERIMENTAL ESTIMATION OF TECHNOLOGY PARAMETERS OF TWT SLOW-WAVE STRUCTURE ELEMENTS MANUFACTURE

During the test of traveling wave tubes it was ascertained the direct dependence of the thermal conductivity of the slow wave structure from accuracy of manufacturing and from porosity of ceramic support rods. It is allowed to define the need to improve the accuracy of their production and the presorting by porosity.

In this paper it is solved the problem of fastening of the ceramic rods in the process of processing by coolant instead of adhesive layer. The list of technological parameters and modes of machining support rods held by molecular cohesion forces are defined.

The developed system of experiments allowed to determine the processing parameters required for the calculation of the bond strength (due to the liquid layer) of the ceramic support rod with a mandrel in the process of machining. This makes possible to determine the technological process parameters of ceramic supporting bars polishing for TWT slow-wave structure. It is shown the possibility of power approach to the estimation of process parameters.

Keywords: thermoelectric converters, thermoelectric source of electricity, electronic medical thermometer.

REFERENCES

1. Predmirskiy V. S., Tverdohleb N. G., Bondarchuk A. P. [Physical and mathematical model of technological process of manufacturing the TWT slow wave system]. *All-Ukrainian Scientific Interdepartmental Magazine "Radiotekhnika"*, 2008, iss. 155, pp. 196-202. (Rus)

2. Hrulkov V.A., Taroday V.A., Golevan N.Ya., Buk U.M. *Mekhanicheskaya obrabotka detalei iz keramiki i metallov* [Machining of details from ceramics and metals]. Saratov, Publishing house of Saratov University, 1975, 380 p. (Rus)

3. *Spravochnik tekhnologa-mashinostroitelya* [Handbook of technologist-machine builder]. Moscow, Mechanical Engineering, 1969, 174 p. (Rus)

4. Luriev G.V. *Shlifovanie metallov* [Grinding of metals]. Moscow, Mechanical Engineering, 1985. 495 p. (Rus)

5. Crachelskiy I.V., Vinogradova I.E. *Koeffitsienty treniya* [Coefficients of friction]. Moscow, Matia, 1955, 187 p. (Rus)

6. Abricosova I.I. [The study of the molecular attraction forces between solid bodies]. Abstract of the thesis of the technical sciences candidate. Moscow, Institute of Physical Chemistry of the Academy of Sciences of the USSR, 1955, 15 p. (Rus)

7. Maslov E.N. *Osnovy teorii shlifovaniya metallov* [Fundamentals of metal grinding theory]. Moscow, Matia, 1951, 177 p. (Rus)