

Р. Б. МАРТИРОСЯН, Р. В. КНЯЗЯН, С. Р. МАРКАРЯН

НОВЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИЗНОСА ШЛИФОВАЛЬНОГО КРУГА

Объем шлифовальных работ в машиностроении непрерывно увеличивается. Поэтому задача оптимизации условий процессов шлифования является весьма актуальной. Решение этой задачи связано с разработкой практически удобной и одновременно точной методики определения износа шлифовального круга. Существующие способы определения износа круга сводятся к следующему [1, 2].

1. Весовой метод.

При этом способе износ определяется периодически взвешиванием круга. Недостатками этого метода являются:

а) большая трудоемкость.

Необходимо для взвешивания периодически снимать круг со шпинделя станка и после взвешивания вновь устанавливать.

Необходимо очищать круг от засаливания, промывать и высушивать для удаления СОЖ;

б) низкая точность в случаях, когда круг изнашивается с малой интенсивностью;

в) невозможно оценить искажение профиля круга вследствие износа.

2. Метод непосредственных замеров круга. Недостатками этого метода являются:

а) для произведения точных замеров необходимо снимать круг со шпинделя станка;

б) при изнашивании круга с малой интенсивностью точность замеров недостаточна, так как требуемая точность выше, чем шероховатость режущей поверхности и искажение профиля круга вследствие неравномерного износа.

3. Метод выдавливания углублений или же вырезание лунки кривизной, обратной кривизне режущей поверхности круга.

Более точным является метод вырезания лунки, который применяется также при исследовании износа деталей машин [3].

При этом методе периодически измеряется хорда, стягивающая дугу лунки. По замерам хорды расчетным путем определяется измерение глубины лунки, т. е. износ круга. Этот метод имеет также недостатки:

а) для проведения точных замеров необходимо снять круг со станка;

б) этот метод неприемлем в случае электроэрозионного вскрытия режущих зерен, так как здесь в периоде стойкости изнашиваются только выступающие над связкой зерна.

В настоящее время при широком применении шлифовальных кругов из алмазов и других сверхтвердых абразивных материалов, изнашивающихся с малой интенсивностью, и использовании электрофизических методов вскрытия зерен, становится особенно важной задача разработки новых, более точных методов определения износа шлифовальных кругов.

Для решения этой задачи нами был разработан новый метод, сущность которого сводится к следующему.

На поверхности круга необходимо прорезать круговую замкнутую канавку глубиной h , концентрично оси вращения круга (рис. 1).

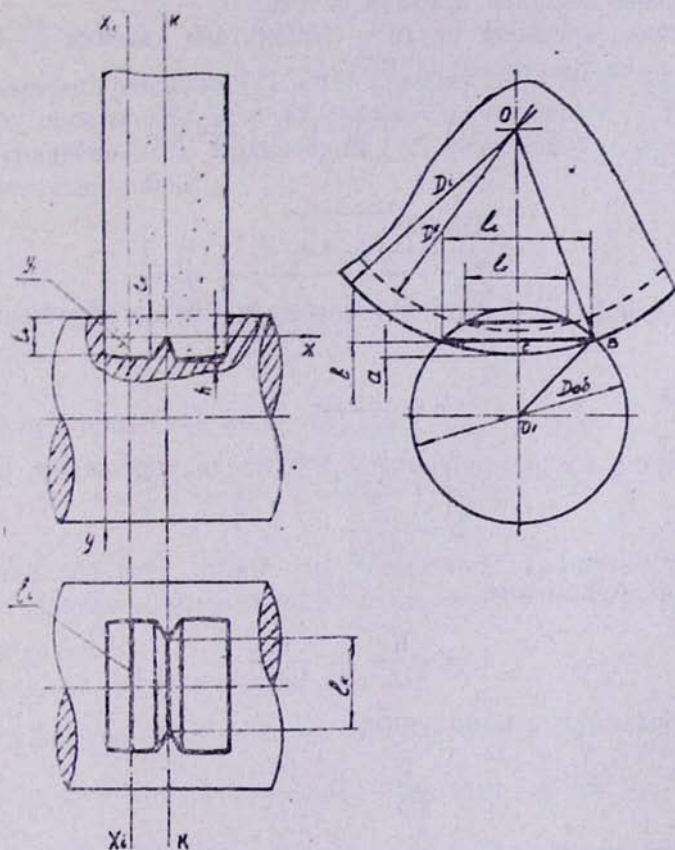


Рис. 1. Схема для определения размерного износа шлифовального круга.

Далее периодически подачей на врезание снимается отпечаток профиля круга в виде лунки на цилиндрическом или же на плоском образце. При этом глубина врезания t должна быть не менее глубины канавки ($t \geq h$).

По замерам хорд в различных сечениях отпечатка определяются ординаты точек профиля круга относительно оси x , проведенной через дно канавки параллельно образующей поверхности круга.

По замерам отпечатков круга, снятых через определенные интервалы шлифования, можно получить зависимость ординат профиля как функцию от x и времени шлифования τ .

Износ круга Δ_1 в сечении $x_1 - x_1$ за промежуток шлифования $\tau_n - \tau_{n-1}$, очевидно, равен разности соответствующих ординат

$$\Delta_1(\tau_n - \tau_{n-1}) = y_{i\tau_n} - y_{i\tau_{n-1}}. \quad (1)$$

Из рис. 1 следует, что ординаты профиля выбранных сечений $x_1 - x_1$ равны

$$y_i = t_i - t_k, \quad (2)$$

где t_i — глубина врезания круга в сечении $x_1 - x_1$,

t_k — глубина врезания круга в сечении дна канавки $k-k$.

Определим t_i из треугольника BOC $t_i = a + b$

$$\left(\frac{D_1}{2} - a\right)^2 = \left(\frac{D_1}{2}\right)^2 - \left(\frac{l_i}{2}\right)^2,$$

откуда

$$a = \frac{D_1 - \sqrt{D_1^2 - l_i^2}}{2}. \quad (3)$$

Если пренебречь членом a^2 , то получим более упрощенную формулу

$$a = \frac{l_i^2}{4D_1}. \quad (4)$$

Аналогично из треугольника O_1BC , после упрощения, получим

$$b = \frac{l_i^2}{4D_{06}},$$

сложив a и b , будем иметь

$$t_i = \frac{l_i^2}{4D_1} + \frac{l_i^2}{4D_{06}},$$

таким же образом для t_k получим

$$t_k = \frac{l_k^2}{4D_1} + \frac{l_k^2}{4D_{06}}.$$

Поставив значения t_i и t_k в формулу (2), получим

$$y_i = \frac{l_i^2}{4D_1} + \frac{l_i^2}{4D_{06}} - \frac{l_k^2}{4D_1} - \frac{l_k^2}{4D_{06}}, \quad (5)$$

приняв

$$D_1 = D_k.$$

Здесь D_1 определяется соотношением

$$D_i = D - \sum_1^n \Delta_i(\tau_{n-1} - \tau),$$

где D — номинальный диаметр круга.

После упрощения уравнения (5) получим

$$y_i = \frac{D_i + D_{об}}{4D_i \cdot D_{об}} (l_i^2 - l_k^2). \quad (6)$$

В промежутке времени $\tau_n - \tau_{n-1}$, используя (6) износ в сечении $x_i - x_k$, найдем согласно уравнению (1)

$$\Delta_i(\tau_n - \tau_{n-1}) = \frac{D_i + D_{об}}{4D_i \cdot D_{об}} (l_i^2 \tau_{n-1} - l_i^2 \tau_n - l_k^2 \tau_{n-1} + l_k^2 \tau_n). \quad (7)$$

При плоском образце $D_{об} \rightarrow \infty$, поэтому

$$\Delta_i(\tau_n - \tau_{n-1}) = \frac{1}{4D_i} (l_i^2 \tau_{n-1} - l_i^2 \tau_n - l_k^2 \tau_{n-1} + l_k^2 \tau_n). \quad (8)$$

При выводе уравнения (7) и (8) с целью упрощения были сделаны допущения, оценим допущенную относительную ошибку. При замене точного уравнения (3) уравнением (4) допущенная относительная ошибка, очевидно, равна

$$\varepsilon = \left| \frac{\frac{l_i^2}{4D_i} - \frac{D_i - \sqrt{D_i^2 - l_i^2}}{2}}{\frac{D_i - \sqrt{D_i^2 - l_i^2}}{2}} \right| \cdot 100\%,$$

откуда после упрощения получим

$$\varepsilon = \left| 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{l_i}{D_i}\right)^2} \right| \cdot 50\%. \quad (9)$$

Приняв для всех слагаемых уравнения (5) одну и ту же относительную ошибку ε , суммарная относительная ошибка для $\Delta_i(\tau_n - \tau_{n-1})$ получится также ε .

Определим численное значение ε .

Для удобства измерения достаточно, чтобы было $\frac{l_i}{D} \geq 0,1$, при этом соотношении по формуле (9) получим $\varepsilon \leq 0,25\%$, что вполне приемлемо.

Заметим, что при необходимости результаты, полученные по формулам (7) и (8), можно скорректировать по формуле

$$\frac{\Delta_i(\tau_n - \tau_{n-1})}{100 - \varepsilon} \cdot 100. \quad (10)$$

Теперь рассмотрим вносимую относительную ошибку от приравнивания диаметров

$$D_{l\tau_{n-1}} = D_{l\tau_n} = D_k = D_l$$

Очевидно, что промежуток шлифования $\tau_n - \tau_{n-1}$ можно выбрать таким, чтобы износ круга $D_{l\tau_{n-1}} - D_{l\tau_n}$ был бы значительно меньше, чем глубина канавки h , поэтому оценим относительную ошибку от приравнивания $D_k = D_{l\tau_{n-1}}$

$$\varepsilon = \frac{\frac{l_k^2}{4(D_{l\tau_{n-1}} - 2h)} - \frac{l_k^2}{4D_{l\tau_{n-1}}}}{\frac{l_k^2}{4(D_{l\tau_{n-1}} - 2h)}} \cdot 100\%.$$

После упрощения получим

$$\varepsilon = \frac{2h}{D_{l\tau_{n-1}}} \cdot 100\%. \quad (11)$$

Алмазные круги изнашиваются с малой интенсивностью, поэтому достаточно принять $h \leq 0,1$ мм, тогда при $D \geq 100$ мм получим $\varepsilon \leq 0,2\%$.

Заметим, что значение D_k при необходимости можно определить аналитически, так как $y_{i_{\max}} = h$.

Вышеизложенный анализ показывает, что, с одной стороны, сделанные допущения вполне приемлемы, а с другой — полученные ошибки можно оценить и при необходимости скорректировать результаты, сведя ошибку до нуля.

Рассмотрим самый главный вопрос — анализ точности определения износа по данному методу. Как следует из уравнения (7) и (8), точность определения линейного износа Δ_l зависит от точности измерения размеров l_i и l_k .

Очевидно, что относительная ошибка определения износа Δ_l равна

$$\varepsilon = \frac{d\Delta_l(\tau_n - \tau_{n-1})}{\Delta_l(\tau_n - \tau_{n-1})} \cdot 100\%.$$

Для упрощения рассуждений допустим, что для двух последовательных отпечатков круга глубина врезания подобрана таким образом, чтобы $l_{k\tau_{n-1}} = l_{k\tau_n}$, тогда уравнение (7) примет следующий вид:

$$\Delta_l(\tau_n - \tau_{n-1}) = \frac{D_l + D_{05}}{4D_l \cdot D_{05}} (l_{i\tau_{n-1}}^2 - l_{i\tau_n}^2)$$

и поэтому

$$d\Delta_l(\tau_n - \tau_{n-1}) = \frac{D_l + D_{05}}{4D_l \cdot D_{05}} (l_{i\tau_{n-1}} - l_{i\tau_n}) \cdot 2dl.$$

Поставив значение $d\Delta_l(\tau_n - \tau_{n-1})$ и $\Delta_l(\tau_n - \tau_{n-1})$ и после упрощений

получим

$$\varepsilon = \frac{2dl}{l_{i_{n-1}} + l_{i_n}} \cdot 100\%. \quad (12)$$

Приняв точность измерения l_i равным $dl = 0,001$ мм и $l_{i_{n-1}} \approx \approx l_{i_n} = 0,1 D_i$ получим

$$\varepsilon = \frac{1}{D_i} \cdot \%. \quad (13)$$

Для кругов диаметром $D \geq 100$ мм получим

$$\varepsilon \leq 0,01\%.$$

Как следует из уравнения (12) и из приведенного примера, точность определения износа по данному методу весьма высокая, что является основным достоинством этого метода.

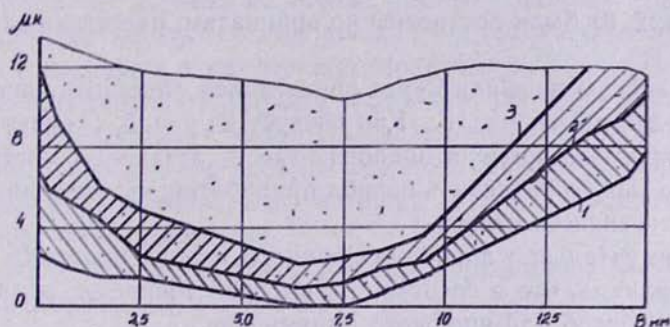


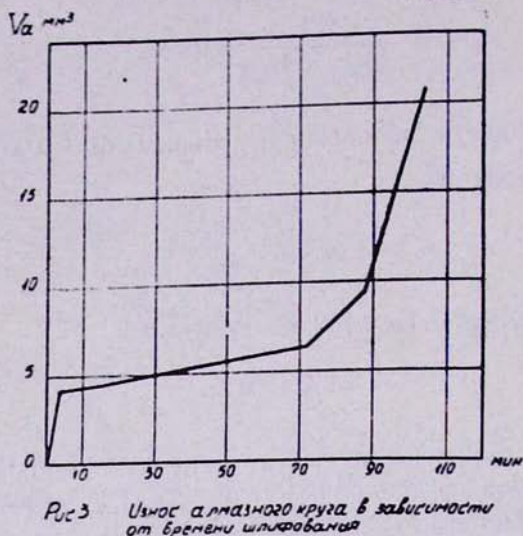
Рис. 2 Профиль круга при различных стадиях износа
1 — исходный профиль
2 — после 16 мин шлифования
3 — после 88 мин шлифования

По предложенному методу проводилось исследование износа круга в зависимости от продолжительности шлифования.

Эксперименты проводились на кругло-шлифовальном станке 3Б12. Обработывались технический ситалл марки ст. 32-8. Шлифование производилось кругом АПП 250×15×5, АКС 125/100 М1, 100% с использованием электроэрозионного способа вскрытия алмазных зерен. Режимы шлифования следующие: $s_{\text{поп}} = 0,025$ мм, $s_{\text{пр}} = 1,7$ мм/об

$$v_d = 8,5 \text{ м/мин}, \quad v_{\text{кр}} = 30 \text{ м/сек.}$$

Отпечатки профиля круга воспроизводились на круглом образце $\varnothing 50$ мм.



На рис. 2 приведен профиль круга для различных стадий износа. Профили (1, 2, 3) были построены по ординатам, рассчитанным по формуле (7).

По изменению профиля круга определялся объемный износ во времени, приведенный на рис. 3. Как следует из рис. 3, характер износа алмазного круга во времени подобен износу лезвийных инструментов. Здесь также можно различить период приработки, стабилизации и чрезвычайно интенсивного износа.

Экспериментальная апробация данного метода показала его удобство и надежность, что в сочетании с высокой точностью позволяет рекомендовать способ для широкого применения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Е. Н. Жустарев, Н. А. Розно и др. Синтетические алмазы в обработке металлов и стекле. М., «Машиностроение», 1968.
2. Г. Б. Лурье. Шлифование металлов. М., «Машиностроение», 1969.
3. А. С. Проников. Износ и долговечность станков. М., Машгиз, 1957.