

МАШИНОСТРОЕНИЕ

Л. М. ТЕРЕЩЕНКО, Г. Р. САГАТЕЛЯН

ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАВНОМЕРНОСТИ СРАБАТЫВАНИЯ  
ИНСТРУМЕНТА ПРИ ДОВОДОЧНОМ ШЛИФОВАНИИ  
УПЛОТНИТЕЛЬНЫХ ПЛОСКОСТЕЙ

В МВТУ им. Н. Э. Баумана разработана серийная технология доводочного шлифования напыленных износостойкими покрытиями уплотнительных поверхностей деталей трубопроводной арматуры (корпусов задвижек, вентилей, клапанов). Детонационные покрытия  $Al_2O_3 + Cr_2O_3$  и ВЗК («стиллит») обрабатываются специальными алмазными кругами АСК 63/50 100%-ной концентрации на связках, соответственно, ТО-2 и МС6П. Доводочное шлифование производится при скорости резания  $v = 3-5$  м/с и давлении в зоне обработки  $p = 0,2-0,5$  МПа на модернизированном станке для доводки уплотнительных поверхностей модели СС4А [1].

Основной особенностью обработки является одинаковость размеров кольцевых поверхностей инструмента и заготовки, что приводит к практическому равенству погрешности формы обрабатываемой поверхности отклонению от плоскостности рабочей поверхности инструмента. Поэтому очевидна необходимость определения кинематических режимов резания, обеспечивающих равномерное срабатывание инструмента. Предполагается, что износ алмазного круга в каждой его точке пропорционален длине дуги контакта этой точки (пути трения  $L$ ) [2], что подтверждено опытами.

Другой важной особенностью доводочного шлифования на станке СС4А является то, что различные точки инструмента, лежащие на одинаковом расстоянии  $r$  от его центра, при  $\psi_1 = 0^\circ$ ,  $\psi_2 = 90^\circ$ ,  $\psi_3 = 180^\circ$  и  $\psi_4 = 270^\circ$  перемещаются по обрабатываемой поверхности по различным траекториям (рис. 1).

На рис. 1 представлена кинематическая схема заменяющего кулисного механизма ОАВ. Точка О соответствует общей оси вращения гильзы и шпинделя станка. Торцевому радиальному пазу шпинделя соответствует звено ОВ, а оси ролика — точка В. Длина звена АВ равна расстоянию  $l$  от собственной оси инструмента до оси ролика. Инструмент жестко связан со звеном АВ и точка А соответствует оси инструмента.

Кинематический режим обработки на станках рассматриваемого типа полностью описывается заданием величин  $e$ ,  $l$  и  $\nu = n_2/n_m$ , где  $n_2$  и  $n_m$  — частоты вращения гильзы и шпинделя станка.

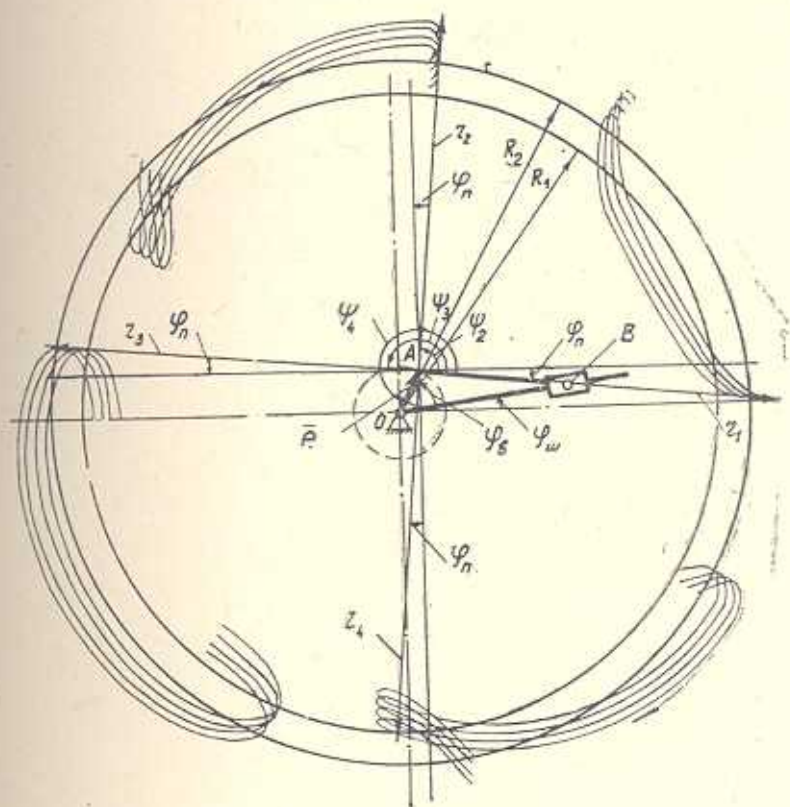


Рис. 1. Траектории, описываемые различными точками рабочей поверхности инструмента при  $e=10$  мм,  $l=32$  мм,  $\nu=8$ .

Прогнозирование формы износа алмазного круга сводится к вычислению длины кривой, дифференциал которой имеет вид:

$$dL = \sqrt{(d\rho)^2 + (\rho d\theta)^2}, \quad (1)$$

где  $\rho$  и  $\theta$  — полярные координаты рассматриваемой точки.

Положение точки К на плоскости, связанной с обрабатываемой поверхностью, определяется решением векторного уравнения (рис. 2)

$$\vec{\rho} = \vec{e} + \vec{r}, \quad (2)$$

где  $e$  — эксцентриситет между собственной осью круга и совместной осью вращения шпинделя и гильзы станка СС4А;  $r$  — расстояние от рассматриваемой точки до оси круга.

Составляющие векторного уравнения (2) в текущем положении показаны на рис. 2 элементами:  $\vec{e} = \overline{OA}$ ;  $\vec{r} = \overline{AK}$ ;  $\vec{\rho} = \overline{OK}$ . Направления векторов  $\vec{e}$  и  $\vec{r}$  в любом текущем положении определяются

условиями: 1) вектор  $\bar{e}$  проворачивается вокруг оси  $O$  на величину угла  $\varphi_n$ ; 2) вектор  $\bar{r}$  проворачивается вокруг конца вектора  $\bar{e}$  на величину угла  $\varphi_n$ .

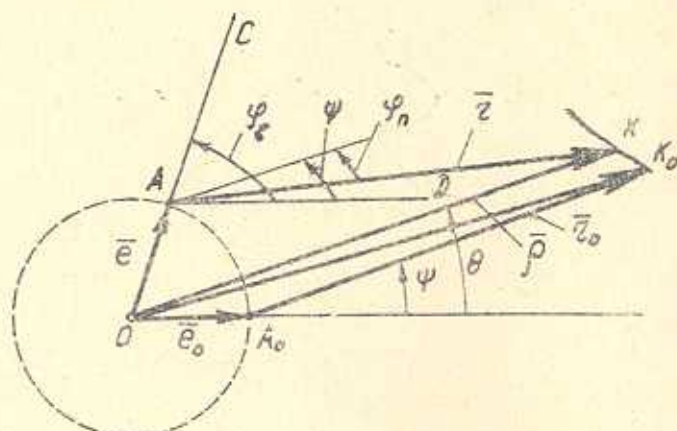


Рис. 2. Векторная схема для определения длин дуг контакта.

Модуль вектора  $\bar{\rho}$  можно определить по формуле (рис. 2):

$$\rho = \sqrt{e^2 + r^2 + 2er \cos \angle CAK},$$

где  $\angle CAK = \varphi_n - \angle KAD = \varphi_n - (\psi + \varphi_n) = \varphi_n - \varphi_n - \psi$ ;

$$\varphi_n = \frac{\varphi_n}{v} - \alpha; \quad (3)$$

$$\alpha = \arcsin \left( \frac{e}{l} \sin k\varphi_n \right); \quad k = 1 - \frac{1}{v}.$$

Тогда формула для определения  $\rho$  запишется в виде:

$$\rho = \sqrt{e^2 + r^2 + 2er \cos (k\varphi_n + \alpha - \psi)}. \quad (4)$$

Полярный угол  $\theta$ , как видно из рис. 2, может быть определен из условия:

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{e \sin \varphi_n + r \sin (\psi + \varphi_n)}{e \cos \varphi_n + r \cos (\psi + \varphi_n)}.$$

Применяя приведенные выше обозначения:

$$\theta = \operatorname{arctg} \frac{e \sin \varphi_n + r \sin \left( \frac{\varphi_n}{v} - \alpha + \psi \right)}{e \cos \varphi_n + r \cos \left( \frac{\varphi_n}{v} - \alpha + \psi \right)}. \quad (5)$$

Формулы (4) и (5) описывают траекторию точки  $K$  на плоскости обработки в параметрическом виде.

Движение инструмента по обрабатываемой поверхности носит циклический характер. Расчеты длин дуг контакта производятся для одного цикла, который в своем начале и конце характеризуется одинаковыми углами между векторами  $\vec{e}$  и  $\vec{r}$ . Очевидно, что это имеет место только в том случае, если один из векторов совершит вокруг другого полный оборот, т. е. должно выполняться равенство:

$$\varphi_n - \varphi_n = 2\pi.$$

Используя (3) и видоизменяя это равенство, получим:

$$\sin k\varphi_n = -\frac{e}{l} \sin k\varphi_n,$$

которое может выполняться лишь при

$$\varphi_{н.ц.} = \frac{\pi \cdot m}{k}, \quad m = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots \quad (6)$$

Полученное значение угла  $\varphi_n$  называется углом цикла для гильзы станка, а угол цикла для шпинделя можно определить по формуле:

$$\varphi_{ш.ц.} = \frac{\pi m}{1 - \nu}. \quad (7)$$

Длина траектории точки  $K$  определяется выражением:

$$L = \int_0^{\varphi_n} \sqrt{\left(\frac{d\rho}{d\varphi}\right)^2 + \left(\rho \frac{d\theta}{d\varphi}\right)^2} d\varphi, \quad (8)$$

где  $\varphi = \varphi_n$ , а верхний предел интегрирования  $\varphi_n$  рассчитывается по формуле (6).

Дифференцируя выражения (4) и (5), получаем:

$$\frac{d\rho}{d\varphi} = -\frac{ker(k+G)\sin(k\varphi + \alpha - \psi)}{\rho};$$

$$\rho \frac{d\theta}{d\varphi} = \frac{e^2 + Gr^2 + (1+G)er\cos(k\varphi + \alpha - \psi)}{\rho},$$

где  $G = \frac{1}{\nu} - \frac{k \frac{e}{l} \cos k\varphi}{\cos \alpha}$ , а  $\cos \alpha = \sqrt{1 - \left(\frac{e}{l} \sin k\varphi\right)^2}$ .

Наличие контакта рассматриваемой точки  $K$  притира с обрабатываемой поверхностью определяется соотношением

$$R_1 \leq \rho \leq R_2, \quad (9)$$

где  $R_1$  и  $R_2$  — внутренний и наружный радиусы обрабатываемой кольцевой поверхности.

При изменении  $\varphi$  от  $0^\circ$  до  $\varphi_u$  условие (9) может выполняться в общем случае,  $n$  раз. При этом каждому  $i$ -тому выполнению условия (9) соответствуют свои пределы интегрирования в выражении (8):  $\varphi_i^*$  и  $\varphi_i^{**}$ . Следовательно, длина дуги контакта точки  $K$  притира равна:

$$L = \sum_{i=1}^n \int_{\varphi_i^*}^{\varphi_i^{**}} \frac{1}{\rho^2} \sqrt{[k(k+G)er \sin(k\varphi + \alpha - \psi)]^2 + [e^2 + Gr^2 + (1+G)er \cos(k\varphi + \alpha - \psi)]^2} d\varphi. \quad (10)$$

Как видно из выражения (10), величина  $L$  действительно зависит от угла  $\psi$ , т. е. от рассматриваемого сечения инструмента, в котором лежит точка  $K$ . Следовательно, форма изношенной рабочей поверхности инструмента принципиально не описывается телом вращения. Однако, с точки зрения формообразования обработанной поверхности детали, форма износа рабочей поверхности инструмента может быть аппроксимирована телом вращения путем следующего усреднения:

$$L = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} L(\psi) d\psi.$$

Согласно предлагаемой методике прогнозируемая форма изношенной поверхности инструмента описывается поверхностью, образованной вращением эпилоры распределения длин дуг контактов  $L = f(r)$  при  $r_1 \leq r \leq r_2$ , где  $r_1$  и

$r_2$  — внутренний и наружный радиусы кольцевой рабочей поверхности инструмента, вокруг его собственной оси.

На рис. 3 показаны рассчитанные на ЭВМ ЕС 1033 эпилоры ожидаемых форм изнашивания рабочей поверхности инструмента, которые показывают, что при  $e = 1$  мм инструмент изнашивается, преимущественно периферией, т. е. его рабочая поверхность приобретает выпуклую форму; при  $e = 3$  мм форма износа рабочей поверхности инструмента — вогнутый тор, а при  $e = 7$  мм — выпуклый тор. При  $e = 5$  мм инструмент, изнашиваясь, приобретает вогнутую форму. Таким образом, имеет принципиальная возможность, варьируя в серийном производстве ве-

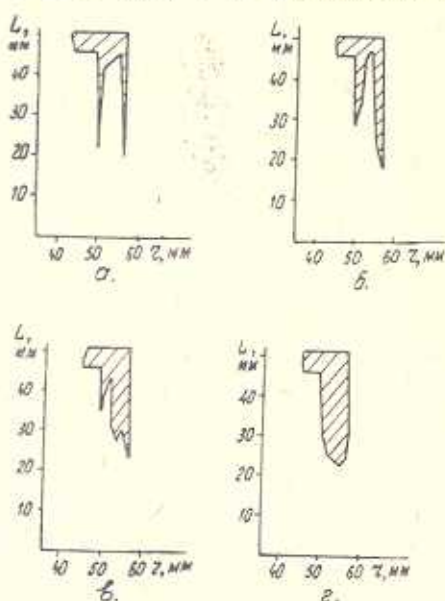


Рис. 3. Ожидаемые формы изношенной поверхности инструмента: а —  $e=1$  мм; б —  $e=3$  мм; в —  $e=5$  мм; з —  $e=7$  мм.

личной  $e$ , компенсировать неравномерности срабатывания инструмента и обеспечить требуемую плоскостность обработанной поверхности детали.

С увеличением  $e$  до 8—10 мм расчетное срабатывание инструмента становится более равномерным, однако следует учесть, что при  $e \geq r_2 - r_1$  базирование инструмента нарушается и он теряет пространственную устойчивость, что приводит к резкому возрастанию отклонений от плоскостности как его рабочей поверхности, так и обработанной поверхности детали.

Լ. Մ. ՏԵՐԵՇԵՆՅԱՌ, Հ. Ռ. ՍԱՂԱՔԵԱՅԱՆ

ԳՈՐԾԻՔԻ ՀԱՎԱՍՍԱՐԱԶԱՓ ՄԱՇՄԱՆ ԱՊԱՀՈՎՈՒՄԸ ԽՏԱՑՆՈՂ ՄԱԿԵՐԵՍՆԵՐԻ ՎԵՐՋՆԱԿԱՆ ՀՂԿՄԱՆ ԳԵՊՔՈՒՄ

Ա մ փ ո փ ո լ մ

Բերված է օղակաձև գործիքի բանվորական մակերևույթի մաշման խնդրի անալիտիկական լուծումը օղակաձև խտացուցիչի վերջնական հղկման դեպքում: Դիտարկված է հաստոցի փոխարինող մեխանիզմի երկվեկտորային սխեման, երբ վեկտորներից մեկը անհավասարաչափ է պտտվում: Ընդունված է գործիքի բանվորական մակերևույթի յուրաքանչյուր կետի մաշման համաչափությունը և պրոցեսի կինեմատիկական գործոնների փոփոխական միջոցով ցույց է տրված գործիքի անհավասարաչափ մաշման ազդագերծման սկզբունքային հնարավորությունը:

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Михайль С. Ю., Беник Л. А. Технология арматуростроения.— М.—Л.: Машиностроение, 1966, с. 190—200.
2. Доводка прецизионных деталей машин /П. Н. Орлов, А. А. Савелова, В. А. Полушкин, Ю. И. Нестеров. Под ред. Г. М. Ипполитова.— М.: Машиностроение, 1978, с. 127—161.