

*А. И. ГОЛЕМБИЕВСКИД*

## **МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ КОНТАКТА ОБРАБАТЫВАЕМОЙ ДЕТАЛИ И ДЕФОРМИРУЮЩЕГО ЭЛЕМЕНТА ПРИ ОБКАТЫВАНИИ \***

При ротационном обкатывании деталей машин эффективность процесса (чистота обработки, степень упрочнения, эксплуатационные характеристики детали) обычно определяют в зависимости от нормального усилия, передаваемого через инструмент на обрабатываемую поверхность. Практические рекомендации по режимам обкатывания также исходят из величины этой силы.

Между тем в зависимости от подачи и геометрических размеров обрабатываемой поверхности и деформирующего инструмента поверхность контакта инструмента с деталью при одной и той же нормальной силе будет различной. Следовательно, разными будут и средние нормальные давления на поверхности контакта. Именно величина последних, а не общего нормального усилия определяет эффективность процесса.

Исходя из этого, вопрос о поверхности контакта детали и деформирующего элемента является весьма важным. Некоторыми исследователями [1,2] она принималась в форме эллипса, что, однако, справедливо только для статического вдавливания. В работе [3] за поверхность контакта принята проекция эллипсоида на плоскость, перпендикулярную нормальному усилию. При этом учтена величина подачи инструмента. Однако такое определение не совсем точно, так как не принята во внимание микрогеометрия поверхности. В формуле для поверхности контакта, предложенной в работе [4], учитываются подача при предварительной обработке точением и исходная и окончательная шероховатость обкатываемой поверхности. Такое решение задачи кажется весьма сомнительным, так как в нем не взяты в расчет размеры детали и подачи при обкатывании.

В данной работе предлагается методика определения поверхности контакта, учитывающая подачу, микропрофиль деформирующего элемента и упругие свойства металла детали и деформирующего элемента. При этом сделано следующее допущение. Абсолютно жесткие микронеровности, расположенные с постоянной плотностью на контурной поверхности деформирующего элемента, в процессе контактирования полностью внедряются в пластически деформируемый металл обрабатываемой поверхности. Это, а также волна деформированного металла впереди деформирующего элемента [5] позволяет не принимать во внимание исходную шероховатость обкатываемой поверхности.

Учитывая принятое допущение, можем записать для поверхности контакта детали и деформирующего ролика

$$F = n \cdot F_w \quad (1)$$

\* Работа выполнена под руководством академика АН БССР Е. Г. Коновалова.

где  $F$  — площадь поверхности контакта;  $n$  — плотность микронеровностей, участвующих в контакте;  $F_M$  — площадь боковой поверхности единичной микронеровности деформирующего элемента.

Плотность контактирующих микронеровностей определим из выражения

$$n = \frac{F_K}{F_0}, \quad (2)$$

где  $F_K$  — площадь контурной поверхности контакта;  $F_0$  — площадь основания единичной микронеровности.

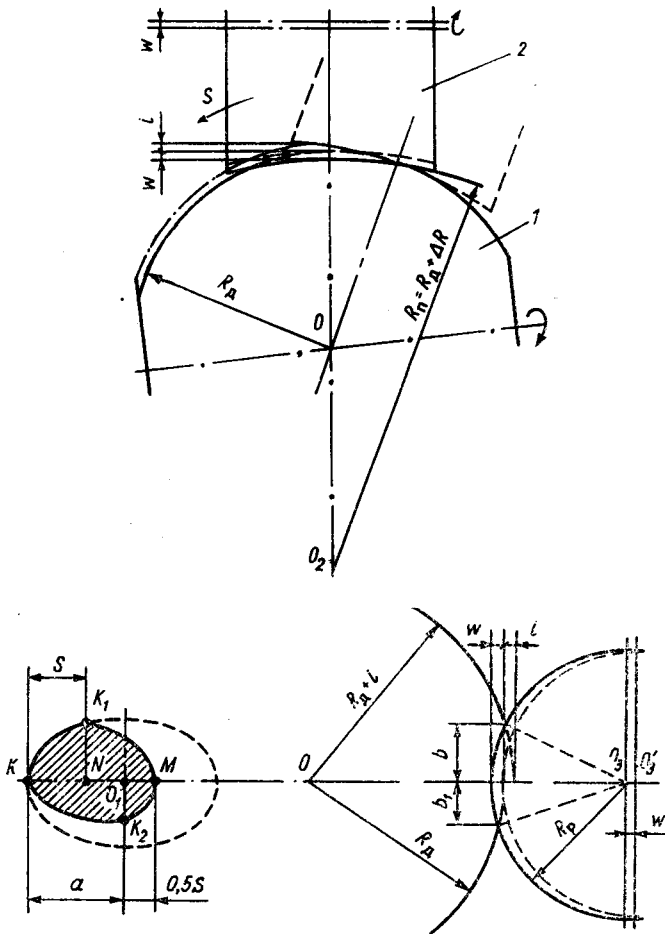


Схема для определения поверхности контакта: 1 — обкатываемая деталь; 2 — деформирующий ролик

При обкатывании глубина внедрения деформирующего элемента сравнительно невелика. Поэтому контурной поверхностью можно считать ее проекцию на плоскость основания контактного эллипсоида или сферы, образующихся при статическом вдавливании.

При обкатывании наружной сферической поверхности вогнутым роликом контурная поверхность контакта  $KK_1MK_2$  (см. рисунок) с учетом совместной упругой деформации детали и деформирующего инструмента ограничена дугами различных эллипсов:  $KK_1$  — линия входа в контакт

ролика и детали;  $K_1M$  — линия выхода из контакта;  $KK_2$  и  $K_2M$  — дуги, ограничивающие поверхность за линией центра эллипсоида. Аппроксимируя дуги эллипсов дугами парабол, можно записать для контурной поверхности контакта

$$F_k = \frac{2}{3} KM \cdot K_1N + \frac{2}{3} KM \cdot K_2O_1. \quad (3)$$

Дуга  $KK_1$  является частью эллипса с полуосями  $a$  и  $b$ , который образовался бы при статическом вдавлении. Для любой точки, лежащей на эллипсе, справедливо равенство

$$y = \frac{b}{a} \sqrt{a^2 - x^2}, \quad (4)$$

где  $x$  и  $y$  — координаты точки  $K_1$ .

Примем за начало координат точку  $O_1$ , тогда  $x = a - S$  и

$$y = K_1N = \frac{b}{a} \sqrt{S(2a - S)}, \quad (5)$$

где  $S$  — подача.

Подставляя в выражение (3) значение параметров из (5) и рисунка и опуская промежуточные преобразования, получим

$$F_k = \frac{2}{3} (a + 0,5S) \left( \frac{b}{a} \sqrt{S(2a - S)} + b_1 \right). \quad (6)$$

Полуоси  $a$ ,  $b$ ,  $b_1$  определим по рисунку, пользуясь методикой для определения длины линии контакта при прокатке [6].

$$a = \sqrt{2(R_d + \Delta R)(i + \omega)}; \quad b = \sqrt{\frac{2R_p \cdot R_d}{R_p + R_d}(i + \omega)}; \quad (7)$$

$$b_1 = \sqrt{\frac{2R_p \cdot R_d}{R_p + R_d} \omega},$$

где  $i$  — пластическая деформация детали (технологический припуск);  $\omega$  — суммарная упругая деформация ролика и детали (рассчитывается по известным формулам теории упругости [7]);  $R_p$  — радиус ролика;  $R_d$  — радиус детали;  $\Delta R$  — приращение профильного радиуса ролика (в случае полноконтактного обкатывания  $\Delta R = 0$ ).

Подставим найденные значения полуосей в выражение (6). Окончательно получим

$$F_k = \frac{2}{3} [\sqrt{2(R_d + \Delta R)(i + \omega)} + 0,5S] \times \quad (8)$$

$$\times \left[ \sqrt{\frac{2R_p}{R_p + R_d} S (2 \sqrt{2(R_d + \Delta R)(i + \omega)} - S)} + \sqrt{\frac{2R_p \cdot R_d}{R_p + R_d} \omega} \right].$$

Для определения геометрических параметров единичной микронеровности были проведены исследования шероховатости вогнутых деформирующих роликов по профилограммам, снятым на профилографе-профилометре модели «Калибр-ВЭИ». Рабочие поверхности роликов шлифовались периферией мерного цилиндрического круга, диаметр которого равен двум профильным радиусам ролика. Затем часть роликов полировалась, хромировалась и вновь полировалась.

В результате исследования профилограмм было установлено, что в большинстве случаев форма микронеровностей в продольном и попереч-

Радиусы закругления вершин и относительные размеры основания единичной микронеровности

Вид обработки	Класс чистоты	'поп.- мкм	'пред.- мкм	$\frac{\text{'поп}}{Rz}$	$\frac{\text{'прод}}{Rz}$
Круглое шлифование	7	5	15	5	8
	8	7	21	8	15
	9	12	30	15	19
	10	17	41	22	35
Полирование	8	330	130	60	70
	9	650	280	115	104
	10	1000	440	216	180
	11	1360	600	264	220
Полирование (после хромирования)	10	1150	500	210	175
	11	1410	650	260	215
	12	1750	800	300	240

ном сечениях представляет криволинейную трапецию с различными размерами оснований и радиусами закруглений вершин, а в горизонтальном сечении — эллипсы. Для исследованных классов чистоты обработки рабочих поверхностей роликов удалось установить средние значения радиусов закруглений вершин и средние значения оснований единичной микронеровности в продольном и поперечном сечении. Эти результаты представлены в таблице.

Результаты исследования микропрофиля рабочей поверхности ролика позволяют с достаточной точностью моделировать шероховатость его поверхности набором эллипсоидов. Следовательно, площадь основания и площадь боковой поверхности единичной микронеровности можно выразить уравнениями [8].

$$F_o = \pi a' b'; \quad F_m = \pi a' b' \left( \sqrt{1 - \varepsilon^2} + \frac{\arcsin \varepsilon}{\varepsilon} \right), \quad (9)$$

где  $a'$  и  $b'$  — полуоси основания эллипсоида;  $\varepsilon$  — эксцентриситет эллипсоида

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{a'^2 - b'^2}{a'^2}}.$$

Подставляя в (1) найденные значения и опуская промежуточные преобразования, получим расчетное уравнение для определения фактической площади поверхности контакта сферы и вогнутого ролика в процессе обкатывания.

$$F = \frac{2}{3} \left[ \sqrt{2(R_d + \Delta R)(i + w)} + 0,5S \right] \times \\ \times \left[ \sqrt{\frac{2R_p}{R_p + R_d} S(2\sqrt{2(R_d + \Delta R)(i + w)} - S) +} \right. \\ \left. + \sqrt{\frac{2R_p \cdot R_d}{R_p + R_d} w} \right] \cdot \left[ \sqrt{1 - \varepsilon^2} + \frac{\arcsin \varepsilon}{\varepsilon} \right]. \quad (10)$$

Анализ уравнения (10) показывает, что фактическая поверхность контакта обкатываемой детали и деформирующего элемента является функцией геометрических, технологических и физических параметров процесса и может быть определена расчетным путем для конкретного технологического процесса.

## Литература

1. Б р а с л а в с к и й В. М. Технология обкатки крупных деталей роликами. М., 1966.
2. П о р т н о в И. М. Окончательная обработка деталей вальцовками. Киев, 1961.
3. П а п ш е в Д. Д. Упрочнение деталей обкаткой шариками. М., 1968.
4. Ш н е й д е р Ю. Г. и др. Изв. вузов, Приборостроение, № 1, 1969.
5. К о н о в а л о в Е. Г., С и д о р е н к о В. А. Чистовая и упрочняющая ротационная обработка поверхностей. Минск, 1968.
6. Ц е л и к о в А. И. Теория и расчет усилий в прокатных станах. М., 1962.
7. П и н е г и н С. В. Контактная прочность и сопротивление качению. М., 1969.
8. С м и р н о в В. И. Курс высшей математики, т. 1. М., 1965.

*Калининградский технический институт  
рыбной промышленности и хозяйства*

*Поступило в редакцию  
30.IX 1970*