

Л и т е р а т у р а

1. Крагельский И.В. Трение и износ. М., "Машиностроение", 1968.
2. Михин Н.М. Трение в условиях пластического контакта. М., "Наука", 1968.
3. Крагельский И.В., Михин Н.М., Амосов Н.И. Метод комплексного определения коэффициента трения и его составляющих. Сб.: "Проблема трения и изнашивания", вып.3. Киев, "Техника", 1973.
4. Ахматов А.С. Молекулярная физика граничного трения. М., ФМА, 1963.
5. Евсин Е.А., Торбило В.М. Трехкомпонентный динамометр для измерения сил при выглаживании. Сб.: "Повышение надежности и долговесности изделий машиностроения". Пермь, ПИИ, 1972.

УДК 621.787.4

В.М. Торбило, А.С. Донсков

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛОЩАДИ КОНТАКТА ПРИ АЛМАЗНОМ ВЫГЛАЖИВАНИИ ДЕТАЛЕЙ

Площадь контакта - важный параметр процесса алмазного выглаживания, от которого зависит напряженное состояние в контакте, теплонапряженность процесса и в конечном итоге - качество выглаженной поверхности.

В настоящее время не существует достаточно точных методов расчета площади контакта при обработке поверхности как обкаткой шариком, так и с выглаживанием. Применяющийся некоторыми исследователями приближенный расчет площади контакта по Герцу и более совершенный метод расчета, предложенный Д.Д. Папшевым [1], дают явно заниженные значения по сравнению с опытными (табл.1).

Нами разработан метод расчета площади контакта и ее геометрических очертаний, более точно учитывающий явления, происходящие в контактной зоне, а также метод экспериментального определения площади контакта.

С целью получения исходных предпосылок для построения теоретической модели площади контакта нами было проведено экспериментальное исследование области давления инструмента на поверхность обрабатываемой детали при выглаживании алмазной гладилкой.

Исследования проводились на цилиндрических образцах, изготов-

ленных из сталей 40X (HB 160), У10А (HRC60), дуралюмина Д16Т

Т а б л и ц а 1

Опытные и расчетные величины площади контакта
при выглаживании сталей У10А (HRC60) и 40X (HB160)

Нормальная сила P_y , кгс	Радиус алмаза R, мм	Подача S, мм/об	Площадь контакта, мм ²			
			Расчет по Герцу [2]	Расчет по Шапшеву д.д. [11]	Расчет по формуле (10)	Эксперимент
С т а л ь У10А						
15	1,0	0,04	0,021	0,022	0,028	0,031
20	1,0	0,04	0,025	0,028	0,037	0,039
25	1,0	0,04	0,030	0,033	0,045	0,048
30	1,0	0,04	0,033	0,037	0,053	0,057
30	1,0	0,02	-	-	0,053	0,064
30	1,0	0,08	-	-	0,053	0,068
С т а л ь 40X						
5	2,0	0,04	0,014	-	0,034	0,045
10	2,0	0,04	0,022	-	0,067	0,075
15	2,0	0,04	0,029	-	0,099	0,105
20	2,0	0,04	0,035	0,047	0,130	0,140
10	3,0	0,04	0,029	0,046	0,068	0,081
15	3,0	0,04	0,038	0,061	0,101	0,108
20	3,0	0,04	0,047	0,069	0,134	0,126
15	3,0	0,02	-	0,060	0,101	0,085
15	3,0	0,08	-	0,064	0,101	0,085
15	3,0	0,15	-	0,066	0,101	0,095

(HB 130). Измерение площади контакта производилось следующим образом. На рабочую поверхность алмаза наносился тонкий слой материала, обладающего хорошей адгезией к алмазу. При выглаживании нанесенный слой постепенно изнашивался, обнажая поверхность алмаза. Полученная область контакта затем фотографировалась

лась на микроскопе МИМ-7 и по фотографии рассчитывалась площадь контакта.

Результаты исследований показали, что геометрия границ области контакта при варьировании режимов обработки существенно не изменяется. Зона контактирования распространяется также на заднюю полушфферу рабочей части алмазной гладилки (относительно вектора скорости), что указывает на достаточно большие упругие деформации последствия материала детали, особенно при выглаживании закаленных сталей. Величина площади контакта, как следует из табл. I, находится практически в прямой зависимости от силы выглаживания P_y , увеличиваясь с ее ростом. Изменение подачи обработки не приводит к существенному изменению площади контакта.

Сравнение данных экспериментальных и вычисленных по формулам, приведенным в [2] для случая упругого сжатия двух тел, показывает, что контактная площадь при выглаживании в 1,5-2 раза больше, чем при упругом сжатии тел с той же силой. Следовательно, при выглаживании имеют место значительные пластические деформации тонкого поверхностного слоя материала обрабатываемой детали.

Из приведенного анализа можно заключить, что для получения теоретической зависимости площади контакта при выглаживании достаточно рассмотреть более простой случай, а именно - движение жесткого индентора по упруго-пластическому полупространству.

В литературе наиболее полно освещены вопросы движения при упругом взаимодействии тел. С учетом результатов работ [3], [4] нами был рассмотрен процесс движения абсолютно жесткого индентора с основанием, поверхность которого описывается уравнением эллипсоида, по упруго-пластическому полупространству. Исследование проводилось на основе теории малых упруго-пластических деформаций методом "упругих решений" [4]. При этом предполагалось, что область контакта индентора с полупространством ограничивается дугами двух эллипсов с полуосями a_1 , b и b , a_2 (рис. I) и не имеет точек разрыва нормальных напряжений σ_y . Аналитическое решение этой задачи позволило установить следующие соотношения между величиной полного внедрения индентора δ_n и силой прижатия P_y :

$$P_y = \frac{1}{2} \frac{G(1-\omega)R^{1/2}}{\alpha \delta_n^{3/2}(1-\mu)} \left(1 + \sqrt{\frac{1-\omega}{1+\omega}}\right) \delta_n^{3/2}; \quad (I)$$

упругим внедрением δ_B :

$$\delta_B = \delta_H (1 - \omega) ; \quad (2)$$

упругим перемещением w точек, принадлежащих контуру контакта

$$w = \frac{1}{2} \delta_H (1 - \omega) , \quad (3)$$

в которых ω - функция Ильюшина [5], определяемая из системы уравнений:

$$\varepsilon_i = 0,379 \frac{\sqrt{(1-2\mu)^2(1-\beta+\beta^2)+3f^2(1+\beta)^2}}{\alpha_B \beta(1+\beta)(1+\omega)} \times \quad (4)$$

$$\times \left[\frac{P_y}{E(1-\omega)R^2(1-\mu^2)^2 \left(1 + \sqrt{\frac{1-\omega}{1+\omega}}\right)} \right]^{1/3}$$

$$\sigma_i = \Phi(\varepsilon_i) ; \quad (5)$$

$$\omega = 1 - \frac{\sigma_i}{E\varepsilon_i} \quad (6)$$

методом последовательных приближений.

В уравнениях (1) - (6):

E, G, μ - модули упругости I и II рода и коэффициент Пуассона материала обрабатываемой детали;

$$\beta = \sqrt{\frac{z}{R}} ;$$

r^{-1}, R^{-1} - большая и малая кривизны основания индентора в точке $O(0, 0, 0)$ в плоскостях $z = 0$ и $X = 0$ соответственно;

α_B - коэффициент, зависящий от отношения $\frac{z}{R}$ [2];

f - коэффициент трения (адгезионный).

Уравнение $\sigma_i = \Phi(\varepsilon_i)$ находится путем аппроксимации подходящей функцией экспериментальной диаграммы растяжения исследуемого материала. В случае отсутствия последней функция ω может быть вычислена по приближенной формуле

$$\omega = \frac{2A-1}{2A+K} , \quad (7)$$

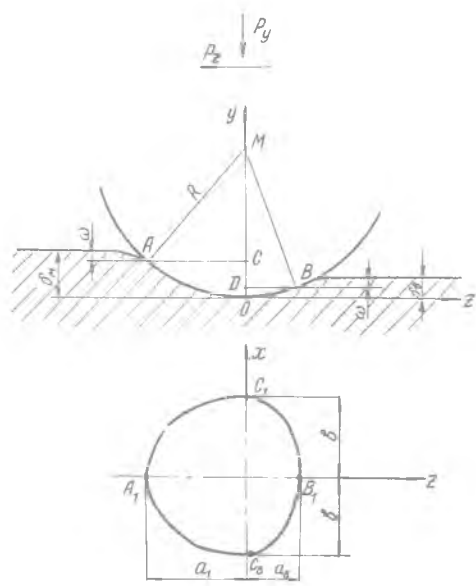
где

$$A = 0,254 \frac{G}{1-\mu} \sqrt{\frac{P_y}{R^{1/2} z^{3/2} HV^3 \alpha_B^3}} ;$$

HV - твердость материала по Виккерсу;
 K - коэффициент, зависящий от свойств материала (табл.2).

Т а б л и ц а 2
 Значения коэффициента K для некоторых материалов

Материал	40X (HВ 160)	40X (HRC 50)	Д16Г (HВ 130)
K	4,0	12,5	7,0



Так как площадь контакта, образующегося при движении индентора с основанием в виде эллипсоида по упруго-пластическому полупространству, состоит из двух полуэллипсов (рис.1), то площадь ее

$$F = \frac{1}{2} \pi b (a_1 + a_2) \quad (8)$$

Из рис.1 находим

$$a_1 = \sqrt{2R(\delta_n - w)} \quad ;$$

$$a_2 = \sqrt{2R(\delta_g - w)} \quad .$$

Аналогично

$$b = \sqrt{2rz(\delta_n - w)} \quad .$$

Подставляя значения для полуосей a_1, a_2, b в (8) и учитывая зависимости (2) и (3), получим

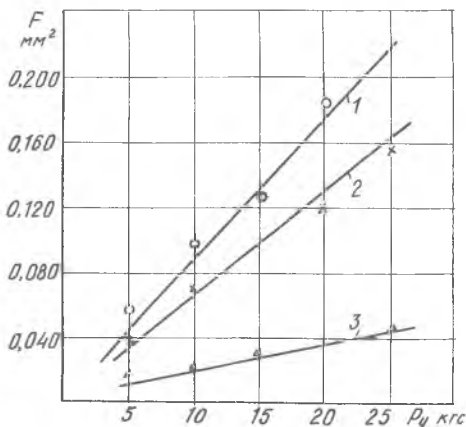
$$F = \frac{1}{2} \pi \delta_n \sqrt{2R} (\sqrt{1+\omega} + \sqrt{1-\omega}) \sqrt{1+\omega} \quad (9)$$

В частном случае, когда поверхность основания индентора описывается уравнением сферы, выражение для площади контакта имеет вид

$$F = \frac{1}{2} \pi R \delta_n (1+\omega) \left(1 + \sqrt{\frac{1-\omega}{1+\omega}}\right) \quad , \quad (10)$$

где величина полного сближения δ_n вычисляется по формуле (1), в которой коэффициент $\alpha_\delta = 0,52$.

Опытная проверка зависимостей, полученных для определения площади контакта, дает хорошую их сходимость с экспериментальными данными (см. табл. 1, рис. 2).



Р и с. 2. Зависимость площади контакта F от силы выглаживания: 1 - дуралюмин Д16Т, НВ130, $R = 3,0$ мм; 2 - сталь 40Х (НВ 160), $R = 2,75$ мм; 3 - сталь У100А (НRC 60), $R = 1,0$ мм

Л и т е р а т у р а

1. Папшев Д.Д. Упрочнение деталей обкаткой шариками. М., "Машиностроение", 1968.
2. Тимошенко С.П. Теория упругости. М.-Л., ОНТИ-ГТИ, 1934.
3. Лурье А.И. Теория упругости. М., "Наука", 1970.
4. Коровчинский Н.В. Распределение напряжений в окрестности локального контакта упругих тел при одновременном действии нормальных и касательных усилий в контакте. "Машиноведение" 1967, № 6.
5. Ильяшин А.А. Пластичность. Гостехиздат, 1948.

УДК 621.787.4

С.Ш. Лахер, П.А. Чеча

КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ПРИ СОВМЕСТНОЙ ЧИСТОВОЙ ОБРАБОТКЕ ТОЧЕНИЕМ И АЛМАЗНЫМ ВЫГЛАЖИВАНИЕМ

Одним из технологических способов повышения долговечности деталей машин является совместная обработка их чистовым точением и алмазным выглаживанием. Следующий за резцом сферический

16-7634