

ФОРМИРОВАНИЕ КОНТАКТНОЙ ПЛОЩАДКИ ПРИ ПОВЕРХНОСТНОМ ПЛАСТИЧЕСКОМ ДЕФОРМИРОВАНИИ ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Для монолитных материалов (ММ) механизм формирования контактной площадки (КП) в процессе поверхностного пластического деформирования (ППД) изучен достаточно полно [1-4].

При обработке ППД пористых материалов (ПМ) этот механизм до настоящего времени остается не выясненным.

В процессе ППД ММ контакт деформирующего элемента с обрабатываемой поверхностью дискретен вследствие прерывистости фактического контакта при трении твердых тел [2, 5]. Дискретность контакта при ППД ПМ усугубляется тем, что поверхность ПМ представляет собой сочетание порошковых частиц и пор (пустот). В связи с последним обстоятельством следует ожидать уменьшения фактической площади КП. По мнению автора работы [4] пренебрежение уменьшением фактической площади КП относительно номинальной при расчетах приводит к значительно завышенным значениям необходимого усилия в процессе ППД.

С учетом наличия пористости на поверхности деталей из ПМ фактическая площадь КП ($F_{кп}^{\Phi}$) определяется следующим выражением:

$$F_{кп}^{\Phi} = F_{кп}^H - F_n, \quad (1)$$

где $F_{кп}^H$ и F_n - номинальная площадь КП (контакт только с порошковыми частицами) и площадь пор на КП, соответственно.

Схема обкатки цилиндра торovým роликом представлена на рис 1 [5]. Из этой схемы следует, что при внедрении деформирующего элемента в обрабатываемую поверхность деталей из ПМ параметры КП рассчитываются из геометрических соотношений в круговых сегментах, ограниченных пересекающимися контурами

$$a = [H(2R_3 - H)]^{1/2}; \quad (2)$$

где a - большая полуось контактной площадки; H - глубина внедрения деформирующего элемента в обрабатываемую поверхность; R_3 - профильный радиус деформирующего элемента.

$$b = \left[H - \frac{2R_1 - H^2}{2(R_1 + R_2 - H)} \right]^{1/2} \left[2R_1 - H \frac{2R_1 - H^2}{2(R_1 + R_2 - H)} \right]^{1/2}, \quad (3)$$

где b – большая полуось контактной площадки; R_1 и R_2 – радиусы деформирующего элемента и обрабатываемой детали.

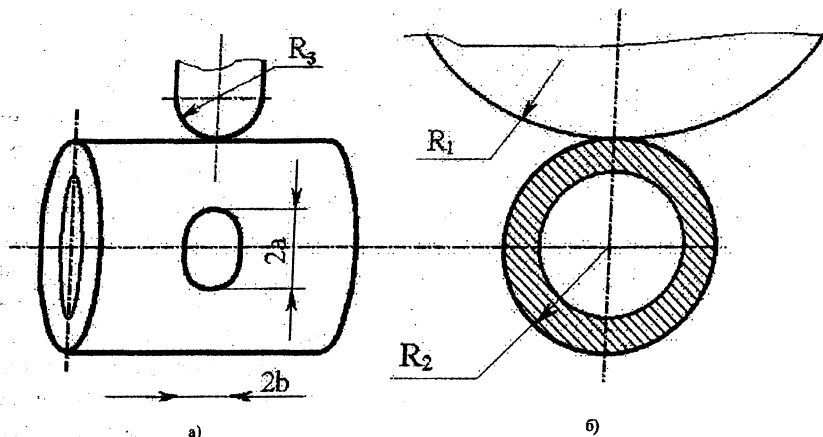


Рис. 1. Схема обкатки цилиндра торовым роликом: а) плоскость подачи; б) плоскость качения (R_1 – радиус деформирующего элемента, R_2 – радиус заготовки, R_3 – профильный радиус деформирующего элемента)

Номинальная площадь КП будет равна

$$F_{\text{кп}}^{\text{н}} = \pi ab. \quad (4)$$

Формирование КП при ППД ПМ можно представить как контакт тора с цилиндрической дискретной поверхностью, состоящей из порошковых частиц и пор. В связи с этим площадь КП будет отличной от той, которая имела бы место в случае обработки ППД ММ при прочих равных условиях.

В основу определения действительной площади КП на поверхности ПМ положена методика, изложенная в работах [4, 6-9].

При этом принят ряд допущений:

- обрабатываемая поверхность представляет собой сочетание порошковых частиц (ПЧ) со сферами одинакового радиуса $r_{\text{пч}}$ и пор, имеющих также равный радиус $r_{\text{п}}$;

- шероховатость деформирующего элемента не учитывается.

Решение задачи начнем с нахождения числа пор (m_{\max}) и занятой ими площади a_{\max} на КП. Для решения были использованы методы теории вероятностей и математической статистики [10, 11]. Предположим, что весь деформируемый слой КП детали из ПМ разбит на ячейки размерами $2r \times 2r \times 2r$, в которые вписаны поры сферической формы (рис. 2).

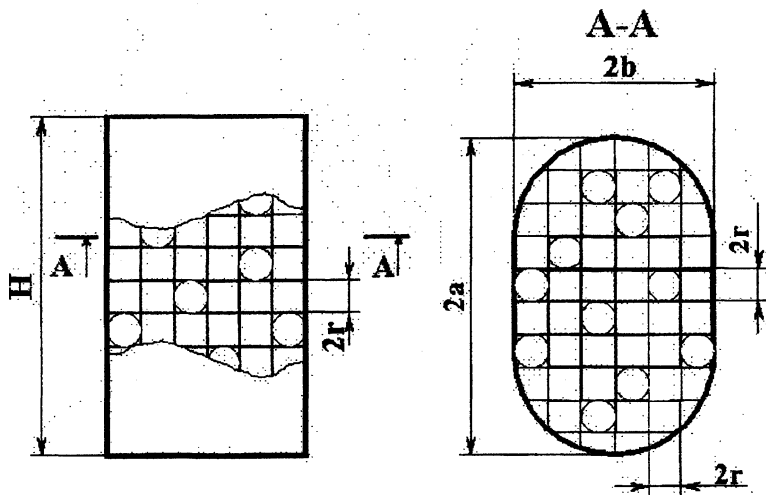


Рис. 2. Распределение пор в деформируемом слое контактной площадки при ППД ПМ

Тогда число ячеек на КП в плоскости подачи деформирующего элемента будет равно

$$n = \frac{F_{\text{кп}}^H}{4r^2} = \frac{\pi ab}{4r^2}. \quad (5)$$

Число ячеек N на КП в плоскости подачи деформирующего элемента

$$N = \frac{2a}{2r} = \frac{a}{r}, \quad (6)$$

Объем сферической поры $(4\pi \cdot r^3)/3$

Если рассматривать слой деформируемого материала КП в плоскости подачи, то его объем равен

$$V_B = 4r^2 \times 2a = 8r^2 a. \quad (7)$$

Число ячеек, занятых сферическими порами, составит

$$d = \frac{3 \cdot 2a\phi}{\pi r} = \frac{6a\phi}{\pi}, \quad (8)$$

где j - пористость материала.

Вероятность того, что в плоскости подачи на КП будет сферическая пора, равна

$$p = \frac{d}{N} = \frac{6\phi}{\pi}. \quad (9)$$

Вероятность того, что в деформируемом сечении А-А, которое состоит из n ячеек, находится m пор, может быть записано в виде биномиального распределения. Это распределение используется, когда производится n независимых испытаний, в каждом из которых одна и та же вероятность P появления интересующего нас события, и требуется определить вероятность появления этого события m раз [10].

Тогда

$$P(m) = C_n^m P^m q^{n-m} = \frac{n!}{m!(n-m)!} P^m q^{n-m}, \quad (10)$$

где $q = 1 - P$.

При указанном законе распределения наиболее вероятное число пор в сечении образца $m^* = (1+n)P$

Наиболее вероятное число пор в зоне обработки ППД ПМ составит

$$m^* = (1+n)P = \left(1 + \frac{\pi ab}{4r^2}\right)P. \quad (11)$$

Вероятность, соответствующая величине m^* , равна

$$P_{m^*} = \frac{1}{\sqrt{2\pi n p q}}. \quad (12)$$

Величина удельной площади a^* КП, занятой сферическими порами на 1 см^2 , соответствующая m^* равна

$$a^* = m^* \frac{\pi^2}{4r^2} = m^* \frac{\pi}{4n} = \frac{3}{2}\phi. \quad (13)$$

С учетом пористости фактическая площадь КП будет равна

$$F_{\text{КП}}^\phi = F_{\text{КП}}^H = \text{rab} \cdot (1,5\text{rab}j) = \text{rab}(1-1,5j). \quad (14)$$

Фактическую площадь КП уточняли по методике [4].

$$F_{\text{кп}}^{\Phi} = F_{\text{кп}}^{\text{н}} k_1 k_2, \quad (15)$$

где k_1 - коэффициент, определяемый в зависимости от отношения F_1/F_2 ; k_2 - коэффициент, учитывающий изменение площади КП за счет: пластической деформации микронеровностей исходной поверхности.

Площадь контакта F_1 (без учета шероховатости исходной поверхности), приближенно рассматривали как площадь эллипса, оси которого определяли по ширине двух отпечатков: при продольном перемещении деформирующего элемента вдоль неподвижного образца; при обкатывании деформирующим элементом вращающегося образца без подачи деформирующего элемента.

При тех же усилиях P производили вдавливание деформирующего элемента в плоский образец из того же исследуемого материал. Далее определяли площадь отпечатка F_2 и отношение площадей F_1/F_2 .

Для определения коэффициента k_2 образцы обкатывали роликом (радиус ролика - $R_p = 25$ мм, профильный радиус ролика - $R_{\text{пр}} = 8$ мм) с усилием деформирования 0,5 кН и скоростью 50 м/мин [4]. Длительность обкатывания - 10 оборотов образца при установившемся давлении. Коэффициент k_2 равен отношению ширины отпечатков деформирующего элемента на поверхностях, образованных за десять и один оборот образца соответственно.

По формулам (2) и (3) определяли расчетные значения КП, а затем величину фактической площади КП - $F_{\text{кп}}^{\Phi}$ с учетом полученных коэффициентов k_1 и k_2 по формуле (15).

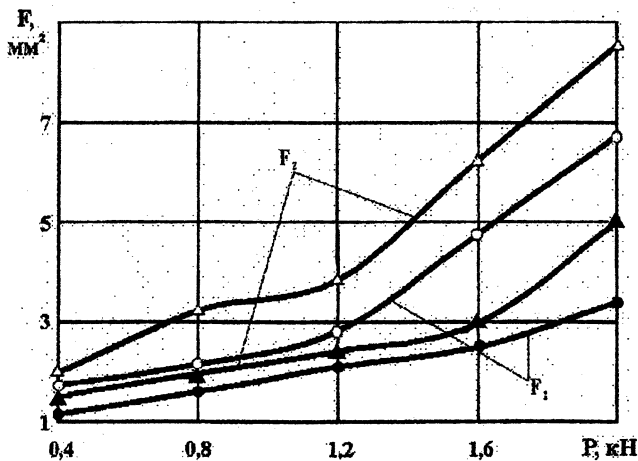


Рис. 3. Зависимости площади отпечатка деформирующего элемента от усилия деформирования: 1 - \blacktriangle - \blacktriangle - \bullet - \bullet - ЖГр2; 2 - \triangle - \triangle - \circ - \circ - ЖЗр1ДЗ ($V = 26$ м/мин)

На рис. 3 представлена зависимость указанных площадей отпечатка от усилия деформирования. В результате проведенных экспериментов были определены следующие средние значения коэффициентов k_1 и k_2 : для материала ЖГр2 $k_1=0,74$, $k_2=1,31$; для материала ЖГр1Д3 - $k_1=0,79$; $k_2=1,35$.

Таким образом, фактическая площадь КП при обработке ППД ПМ определяется по формуле:

· материал ЖГр2

$$F_{\text{кп}}^{\text{ф}} = 0,9694 \pi ab(1-1,5\varphi); \quad (16)$$

· материал ЖГр1Д3

$$F_{\text{кп}}^{\text{ф}} = 1,0665 \pi ab(1-1,5\varphi). \quad (17)$$

Усилие деформирования определяли по методике [4]

$$P = mH^n, \quad (18)$$

где m - коэффициент, зависящий от соотношения профильного радиуса деформирующего элемента и диаметра заготовки, а также свойств обрабатываемого материала; n - показатель степени, зависящий от склонности материала к наклепу.

Значения m и n , характеризующие свойства обрабатываемого материала, определяли экспериментально. Для этого в поверхность исследуемых материалов при различных усилиях вдавливали ролик с профильным радиусом $R_{\text{пр}} = 8$ мм. По профилограммам определяли глубину отпечатка H . На основе экспериментальных данных строили зависимости $P = f(H)$ (рис. 4).

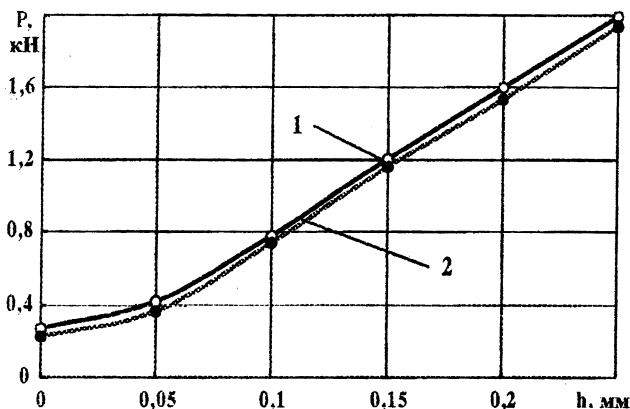


Рис. 4. Зависимости усилия деформирования от глубины вдавления деформирующего элемента: 1 - ЖГр2; 2 - ЖГр1Д3

Коэффициент m определяет критическую нагрузку P , численно равную отрезку, отсекаемому прямой $P = f(H)$ на оси ординат. Коэффициент n характеризуется тангенсом угла наклона прямой $P = f(h)$.

Для материала ЖГр2 $m = 0,32$ кН, $n = 1,6$; для ЖГр1ДЗ – $m = 0,26$ кН, $n = 1,48$. С учетом полученных значений m и n усилие деформирования для материала ЖГр2 – $P = 1,56$ кН, ЖГр1ДЗ – $P = 1,27$ кН.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пятосян Е.И., Волчуга В.В. Эффективность обработки деталей методом накатывания. Мн.: БелНИИНТИ, 1982. – 44 с. 2. Теоретические основы процессов поверхностного пластического деформирования // Под ред. В.И. Беляева. – Мн.: Наука и техника, 1988. – 184 с. 3. Алексеев П.П. Формирование шероховатости поверхности при обработке поверхностей пластической деформацией. Технология машиностроения. – Тула, 1977. – С. 13-17. 4. Шнейдер Ю.Г. Чистовая обработка металлов давлением. – М.: Машгиз, 1963. – 272 с. 5. Макушок Е.М. Самоорганизация деформационных процессов. – Мн. Наука і тэхніка, 1991. – 272 с. 6. Троценко В.Т., Руденко В.Н. Прочность металлокерамических материалов и методы ее определения. - Киев: Техника, 1965. – 190 с. 7. Дрозд М.С., Матлин М.Ю., Сидякин Ю.И. Инженерные расчеты упруго-пластической контактной деформации. - М.: Машиностроение, 1986. - 224 с. 8. Богомолов Н.И. Исследование деформации металла при абразивных процессах под действием единичного зерна // Тр. ВНИИШ. – Л.: Машиностроение, 1986. № 7. – С. 74-78. 9. Мартынов А.Н. Основы метода обработки деталей свободным абразивом, уплотненным инерционными силами. – Саратов: Изд-во СГУ, 1981. – 212 с. 10. Солонин И.С. Математическая статистика в технологии машиностроения. – М.: Машиностроение, 1972. - 215 с. 11. Степнов М.Н. Статистические методы обработки результатов механических испытаний. – М: Машиностроение, 1985. – 232 с.