

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-РАСЧЕТНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИСПОЛЬЗОВАННОГО РЕСУРСА ПЛАСТИЧНОСТИ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ПРИ ОБКАТКЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИМИ РОЛИКАМИ

Получено распределение использованного ресурса пластичности в области пластического контакта при обкатке цилиндрическим роликом.

Accumulation allocation of plasticity resource utilization into plastic area which is deformation of cylindrical roller.

Поверхностную пластическую деформацию используют для обработки разных поверхностей: цилиндрических, плоских, поверхностей коленчатых и шлицевых валов, зубчатых колес, резьб и других [1]. Данный вид обработки обеспечивает увеличение прочности и микротвердости обработанных поверхностей, они более износостойкие, чем, например, поверхности полученные при помощи лезвийной или абразивной обработки.

При рассмотрении процесса пластической деформации поверхностного слоя, в частности при деформировании роликом плоской поверхности возникает целый ряд задач. Одной из них есть определение использованного ресурса пластичности в поверхностном слое. Рассмотрим пластический контакт при качении с скольжением жесткого ролика вдоль плоской поверхности идеально-пластического полупространства. При этом считаем, что пластическое состояние в зоне контакте есть стационарным. Начальное решение для скольжения цилиндра по пластическому полупространству рассмотрено Б.А. Друяновым и Н.М. Михиным [1, 2], качение гладкого цилиндра исследовалось Е.А. Маршалом [3], И.Ф. Коллинз рассматривал скольжение шероховатого цилиндра [4]. В.М.Сегалом предложено решение задачи [5] при произвольном трении между роликом и материалом. При этом исследовались усилия и момент, которые действуют на цилиндр и распределение контактных напряжений по поверхности материала, который обрабатывается. В данной работе поставлена задача найти величину использованного ресурса пластичности в поверхностном слое обработанном цилиндрическим роликом и его зависимость от режимов обработки.

Рассмотрим случай, когда радиус ролика R значительно больше области пластического контакта. Тогда поле линий скольжения, которое удовлетворяет всем статическим и кинематическим условиям будет иметь вид показанный на рис. 1 [5]: АВ- область опережения; ВС- область прилипания; CD – область отставания; $DC_3B_5A_7$ – область пластической волны, которая возникает перед цилиндром под воздействием приложенных нагрузок; γ - угол между радиусом из мгновенного центра вращения в произвольную точку контактной поверхности и осью координат y ; η , φ - углы наклона α -линий скольжения к контактной поверхности и оси x , соответственно.

Поле линий скольжения удовлетворяет всем статическим и кинематическим условиям для начального решения и в каждой области выполняются соотношения [5]:

$$\begin{aligned} \sigma &= k; \quad \varphi = \pi/4 \quad \text{в области } DA_4A_7; \\ \sigma &= k(1+2\theta); \quad \varphi = \pi/4 - \theta \quad \text{в области } A_3DA_4; \\ \sigma &= k(1+3\pi/2-2\eta); \quad \varphi = -\pi/2 + \eta \quad \text{в области } A_2CDA_3; \\ \sigma &= k(1+\pi/2-2\gamma); \quad \varphi = -\gamma \quad \text{в области } A_1BB_1A_3; \\ \sigma &= k(1+\pi/2+2\eta); \quad \varphi = -\eta \quad \text{в области } ABA_1; \end{aligned} \quad (1)$$

где θ - полярный угол, отсчет которого ясен из рисунка 1, k – пластическая константа материала, σ определяется:

$$\sigma = \frac{1}{2}(\sigma_x + \sigma_y) \quad (2)$$

Нормальные напряжения σ_x , σ_y и касательное напряжение τ_{xy} можно найти из уравнений:

$$\sigma_x = \sigma - k \sin 2\varphi \quad (3)$$

$$\sigma_y = \sigma + k \sin 2\varphi \quad (4)$$

$$\tau_{xy} = k \cos 2\varphi \quad (5)$$

С учетом (1) - (5) определены нормальные и касательные напряжения в каждой области, при обработке латуни марки Л62-1.

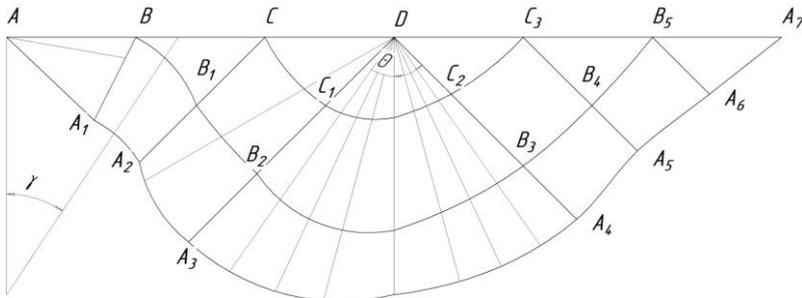


Рис.1. Поле линий скольжения для качения ролика

При плоском напряженном состоянии интенсивность напряжений можно определить по формуле:

$$\sigma_u = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3\tau_{xy}^2} \quad (6)$$

На основании экспериментальных исследований нами получена зависимость между твердостью HV, интенсивностью напряжений σ_u и накопленной деформацией e_u (рис. 2). Используя тарировочный график определяли степень деформации.

Показатель напряженного состояния определяли по формуле [6]:

$$\eta = \frac{3\sigma}{\sigma_u} \quad (7)$$

а параметр Надаи –Лоде рассчитывали по формуле:

$$\mu_\sigma = \frac{2\sigma_2 - \sigma_1 - \sigma_3}{(\sigma_1 - \sigma_3)} \quad (8)$$

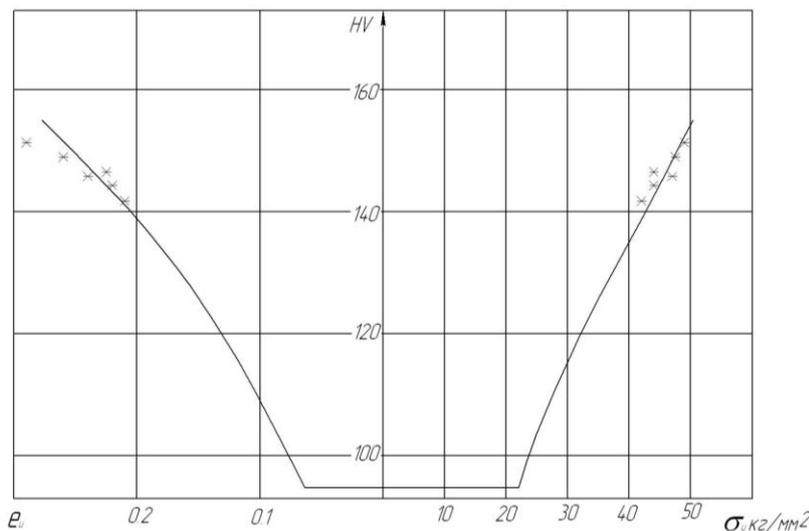


Рис. 2. Тарировочный график латуни Л62-1

Компоненты тензора напряжений σ_1 , σ_2 , σ_3 в данном случае равны:

$$\sigma_{\max/\min} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2} \quad (9)$$

Полученные значения η , μ_σ , e_u использовали для оценки величины использованного ресурса пластичности, который рассчитывается по критерию:

$$\psi = \int_0^{e_u} de_u / e_p(\eta, \mu_\sigma) \quad (10)$$

Поверхность предельных деформаций для латуни Л61-1 аппроксимировали зависимостью:

$$e_p(\eta, \mu_\sigma) = 0.60 \exp(0.48\mu_\sigma - 0.59\eta) \quad (11)$$

Полученные изолинии использованного ресурса пластичности в области пластического контакта ролика, радиусом $R=100$ мм, с поверхностью заготовки в зависимости от подачи приведены на рис. 3.

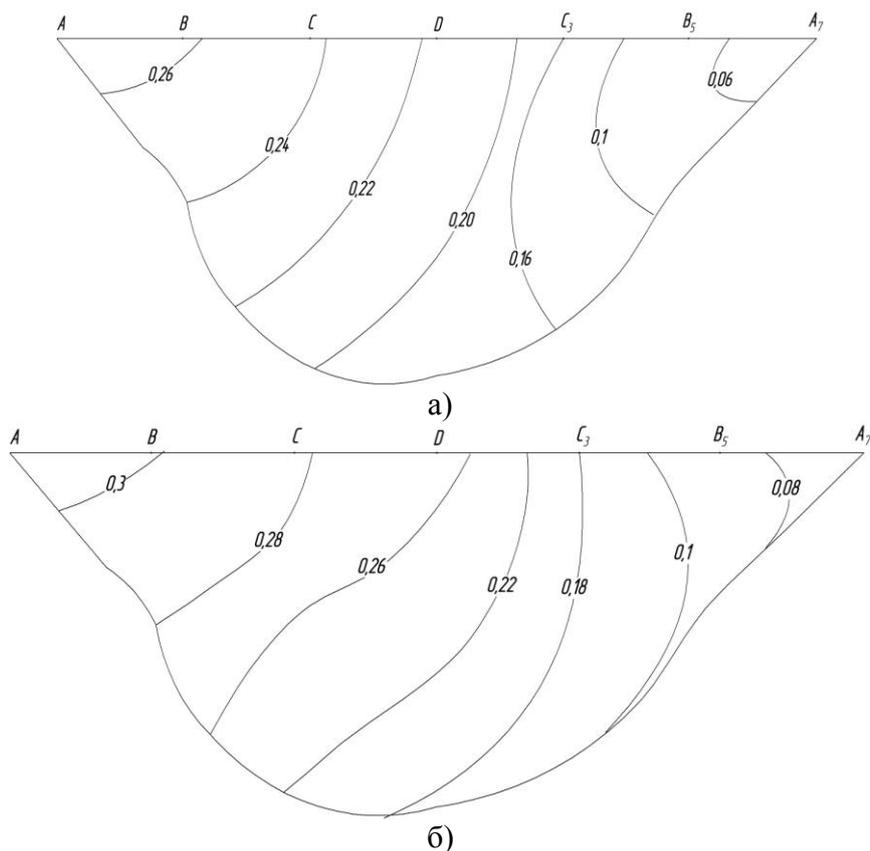


Рис. 3. Изолинии ресурса пластичности при обкатывании роликом $R=100$ мм: а- подача 0,19 мм/об, б – подача 0,67 мм/об

деформаций в условиях гидростатического сжатия возможно залечивание некоторых дефектов. В зоне АВ относительно низкий уровень прироста деформаций и соответственно рост поврежденностей незначителен. Таким образом, необратимая поврежденность металла поверхностного слоя детали при обкатывании происходит в основном, в зоне пластической волны, а именно в ее вершине. Эта поврежденность частично может залечиваться, а оставшаяся часть будет определять эксплуатационные характеристики поверхностного слоя детали.

Выводы

Получена величина использованного ресурса пластичности и его распределение в области пластического контакта цилиндрического ролика с плоской поверхностью заготовки из латуни Л62-1. Установлено, что процесс накопления повреждений более интенсивно протекает в зоне пластической волны, форма и размеры которой зависят от режимов поверхностной пластической деформации.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Друянов Б.А. О движении цилиндрического индентора по поверхности полупространства// Теория трения и износа.- М.: «Наука», 1965. – С.96-120.
- 2 Друянов Б.А., Михин Н.М. Исследование скольжения сферы по пластически деформируемому полупространству// Склерометрия.- М.: «Наука», 1968.-С.130-168.
- 3 Marshall E.A. Rolling contact with plastic deformation// J. Mechanic and Physical Solids.-1968.-№4 - P.87-91.
- 4 Collis I.F.. Analysis of the rolling of a cylinder an a rigid-perfectly plastic half-space.// Int. J. Mech. Sci.-1972.-№1 – P. 54-66.
- 5 Сегал В.М. Технологические задачи теории пластичности (методы исследования).- Минск: «Наука и техника», 1977. - 256 с.
- 6 Огородников В.А. Деформируемость и разрушение металлов при пластическом формоизменении . – Киев УМК ВО,1989. – 151 с.

Анализ полученных результатов показывает, что имеют место три зоны деформирования: в зоне пластической волны происходят значительные деформации при неблагоприятной схеме напряженного состояния. Показатель η в этой зоне изменяется от $\eta=0,71$ до $\eta=1,6$, а μ_{σ} изменяется от $\mu_{\sigma} = -0,3$ до $\mu_{\sigma} = -0,4$. В зоне контакта детали и инструмента ВD происходят основные деформации, однако увеличение использованного ресурса пластичности незначительно. В этой области показатели $\eta=-0,75 \dots -0,7$, $\mu_{\sigma} = 0,2 \dots 0,3$, то есть имеет место схема всестороннего сжатия. При переходе частицы из первой во вторую зону вследствие интенсивных

