

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ ОСАДКОЙ ПРИЗМАТИЧЕСКИХ ОБРАЗЦОВ

В данной статье предлагается метод определения коэффициента трения при пластической деформации, в котором можно объединить простоту инструмента и оборудования с простотой подготовки образцов. Для проведения опытов используются призматические образцы квадратной в плане формы, которые осаживаются на бойках с различными условиями трения.

При проведении осадки квадратного в плане образца при коэффициенте трения близком к нулю деформация оказывается однородной: после выполнения операции будет наблюдаться в плане квадратный профиль с увеличенной контактной площадью. Если же при осадке действуют напряжение трения на контактной поверхности, то, руководствуясь законом наименьшего сопротивления, форма заготовки в плане в плане должна трансформироваться из квадратной в круглую с радиусом R_1 . При этом радиус кривизны изменяется постепенно от $R_0 = \infty$ до конечного радиуса R_1 .

Объем заготовки с квадратным основанием равен $V = a^2 h_0$, а объем в форме диска (после осадки) равен $V = \pi R_1^2 h_1$. Приравняв объемы (по закону постоянства объема), получаем $a^2 h_0 = \pi R_1^2 h_1$. Если ввести безразмерный параметр a/R_1 , то его можно выразить через относительное обжатие в процентах $\varepsilon = 100(h_0 - h_1)/h_0$, тогда

$$a^2/\pi R_1^2 = h_1/h_0 = (h_0 - \Delta h)/h_0 = 1 - \varepsilon/100 \quad (1)$$

или

$$a/R_1 = \sqrt{\pi(1 - \varepsilon/100)} \quad (2)$$

Расчеты показывают, что при $\varepsilon = 0$ показатель a/R_1 приобретает значение 1,77, а при $\varepsilon = 100\%$ $a/R_1 = 0$. Вид функции (2) показан на рис. 1 штриховой линией L . Этот график вводит ограничение на величину относительного обжатия, при котором можно вести измерения. Также на рис. 1 приведены графики функций изменения параметра a/R для трех разных коэффициентов трения ($\mu_1 = 0$ параметр $a/R = 0$): $\mu_1 < \mu_2 < \mu_3$.

Для того чтобы получить набор зависимостей при большом количестве переменных данных, было решено использовать компьютерное

моделирование в программном комплексе QFORM 2D/3D (ООО «КванторФорм» ©). В качестве материала заготовки использован технический свинец. В качестве закона трения был выбран закон Кулона.

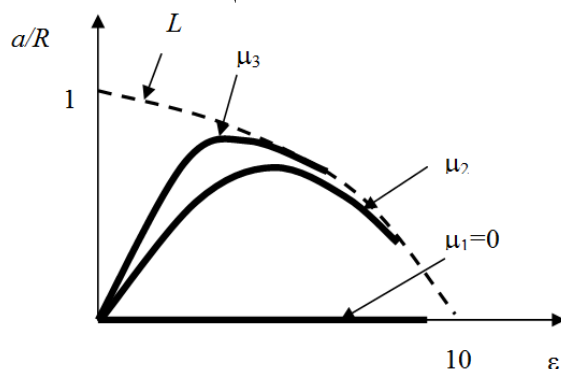


Рис. 1. Обобщенная зависимость параметра a/R от обжатия и коэффициента трения, а также огибающая кривая L

Постановку задачи проводили многократно с перебором значений коэффициента трения и, получая результаты по изменению формы боковой поверхности, измеряли величину радиуса кривизны на различных этапах нагружения. По результатам моделирования и измерений была получена совокупность графиков, представленных на рис. 2. Из них видно, что параметр a/R возрастает с увеличением ε . Так происходит до приближения к огибающей линии L , а затем значение a/R уменьшается.

Также при анализе полученных данных выявили, что нелинейность функции $\mu(a/R)$ нарастает при увеличении деформации и повышение относительного обжатия до 70 % приводит к резкому возрастанию значений μ .

Для физического моделирования использовались заготовки из технического свинца. Образцы подвергали осадке на вертикальном прессе номинальным усилием 500 кН с применением бойков с различно подготовленной контактной поверхностью и использованием смазок. Создали три варианта контактных граничных условий, которые отражены в табл. 1.

В ходе экспериментов было принято решение о целесообразности применять невысокие образцы. В результате при проведении большинства опытов остановились на соотношении $h_0/a = 0,2$.

Полученные после осадки образцы были сфотографированы и проведена оценка величины радиуса кривизны их боковой поверхности. На графиках зависимости a/R от ε отмечены точки (рис. 2), соответствующие полученным значениям a/R и относительному обжатию 40 %.

Путем интерполяции графиков были определены расчетные коэффициенты трения: эти данные приведены в табл. 1 и составляют для шлифованных бойков со смазкой примерно 0,12, для шлифованных бойков без смазки — 0,24, а для рифленых бойков — 0,5. Как видно из табл. 1, полученные значения коэффициента трения оказались внутри диапазонов

значений, определенных другими авторами, сравнение с известными данными показывает хорошую сходимость результатов.

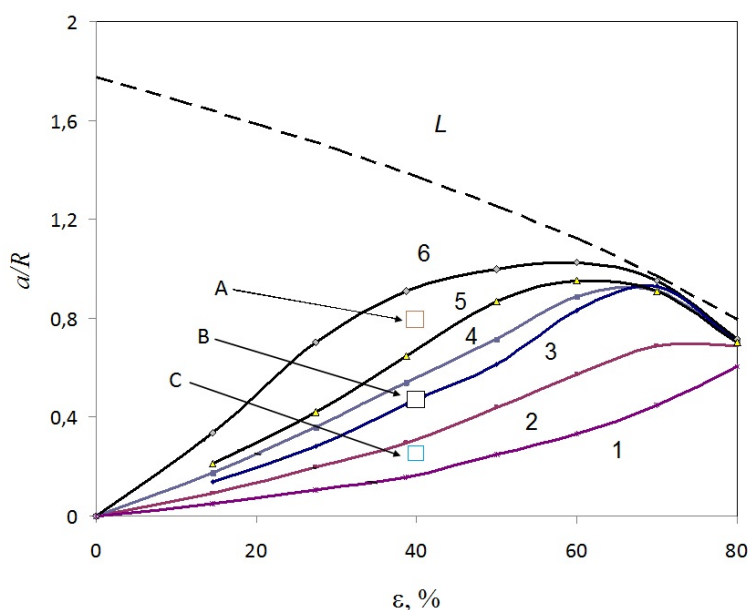


Рис. 2. Зависимость параметра a/R от обжатия при различных коэффициентах трения μ : 1 – 0,05; 2 – 0,1; 3 – 0,15; 4 – 0,25; 5 – 0,3; 6 – 0,5; точками в виде квадратов помечены данные, полученные после реальных экспериментов по осадке образцов до $\varepsilon = 40\%$: A – на рифленых бойках; B – на шлифованных бойках; C – на шлифованных бойках со смазкой

Таблица 1

Граничные условия при проведении опытов

№ опыта	Состояние бойков	Смазка	Коэффициент трения по данным из источников	Коэффициент трения по предлагаемой методике
1	Шлифованные	Солидол +50 % чешуйчатого графита	0,10...0,15	0,12
2	Шлифованные	Нет	0,20...0,30	0,24
3	Рифленые	Нет	Нет данных	0,45

Выводы

Предложена методика оценки коэффициента внешнего трения при деформации металлов, основанная на осадке образцов, имеющих квадратное в плане сечение, измерении радиуса кривизны боковых сторон образца и определение коэффициента трения по диаграммам, полученными авторами. Для получения достоверных результатов предложено применять образцы с отношением высоты к стороне квадрата около 0,2. Выявлено, что целесообразно применять относительные обжатия в опытах не более 60 %.