

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА QFORM В РАСЧЕТАХ ОСАДКИ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ

FEATURES OF USING QFORM SOFTWARE IN THE SIMULATION OF THE UPSETTING PROCESS AND DETERMINING THE FRICTION COEFFICIENT

А. А. Ершов, Ю. Н. Логинов

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, ул. Мира, 19
ssmerchh@mail.ru

Abstract

New method is proposed for evaluation of the coefficient of friction during deformation of metals. Method involves the upsetting prismatic samples with a square cross section in the plan, measuring the radius of curvature of the sides of the sample and the determination of the coefficient of friction on the diagrams are presented. For evaluate the effectiveness of techniques made calculations by finite element method, performed experiments which showed a good convergence of the results.

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 [1,2].

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 напряжения трения на контактной поверхности, то, руководствуясь законом наименьшего сопротивления, форма заготовки в плане в процессе 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 качественной оценки описанной выше ситуации целесообразно применить математическое моделирование, что позволяет не перебирать целую гамму материалов и граничных условий их обработки, а получить набор зависимостей при варьировании возможных параметров. На следующей стадии проведение реального эксперимента нужно для того, чтобы проверить адекватность модели. Следует отметить, что совмещение расчетных решений, выполненных в последнее время конечно-разностными методами, с практическими измерениями в области трибологии все чаще применяется исследователями.

Моделирование осуществляли конечно-элементным методом с помощью программного комплекса QFORM 2D/3D в условиях изотермической 3D-постановки (примеры постановки задач приведены в [3-4]). Назначили скорость перемещения пуансона 10 мм/с. В качестве материала заготовки использован технический свинец. Характеристики его упрочнения определены опытным путем осадкой цилиндрической заготовки. Выявлено, что при заданной скорости сопротивление деформации σ_s в функции от относительного обжатия имеет вид параболической зависимости и при $\varepsilon = 50\%$ σ_s достигает 33 МПа. В качестве закона трения был выбран закон Кулона (адгезионное трение).

В расчетах применили отношение высоты заготовки к стороне квадрата $h_0/a = 0,2$.

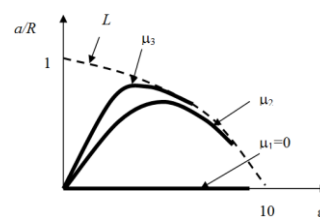


Рис.1. Обобщенная зависимость параметра a/R от обжатия и коэффициента трения, а также огибающая кривая L

Постановку задачи повторяли многократно, перебирая значения коэффициентов трения, получая результат в виде изменения формы боковой поверхности и измеряя изменение радиуса кривизны R по шагам нагружения. В качестве примера расчета на рис. 3 представлено формоизменение образцов при $\varepsilon = 40\%$ и коэффициентах трения 0,1 и 0,4. Из рисунков видно уменьшение радиуса кривизны при увеличении коэффициента трения.

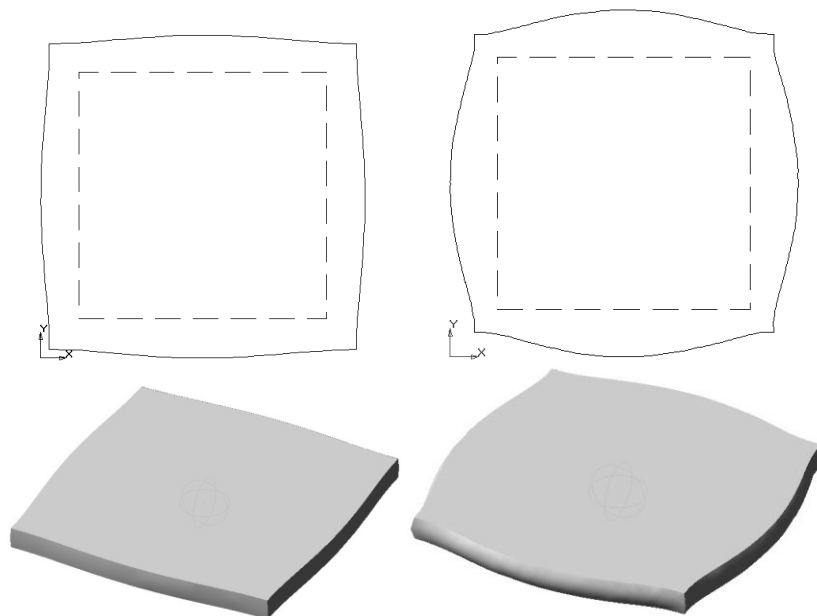


Рис. 2. Формоизменение квадратной в плане заготовки при $\varepsilon = 40\%$ и коэффициентах трения 0,1 (а) и 0,4 (б): вид сверху контура по бочке (пунктирной линией обозначены исходные размеры заготовки) и в изометрии

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 . Это означает, что при таких больших обжатиях одному значению a/R может соответствовать несколько значений μ , что противоречит понятию функции. Отсюда следует, что при применении методики следует избегать чрезмерно больших обжатий.

Методика физического моделирования включала подготовку модельного материала - технического свинца для перевода его из анизотропного литого состояния в изотропное. Для этого дополнительным методом отливали заготовку в изложницу с получением слитка конической формы с максимальным диаметром 75 мм, слиток прессовали на гидравлическом прессе с получением заготовки квадратного сечения со стороной квадрата 30 мм. Затем получали заготовки необходимой толщины ковкой на молоте массой падающих частей 250 кг и прокаткой на стане с диаметром валков 200 мм. Заготовки раскраивали на образцы резкой на гильотинных ножницах и заправкой торцев на строгальном станке.

Образцы подвергали осадке на вертикальном прессе номинальным усилием 500 кН с

В результате перебора вариантов расчета получили совокупность графиков, отраженных на рис.4. Как и предполагалось, параметр a/R имеет тенденцию к увеличению с повышением ε до приближения к огибающей линии L , после чего он уменьшается. При увеличении коэффициента трения графики располагаются все выше, т.е. кривизна боковой поверхности образцов нарастает.

применением бойков с различно подготовленной контактной поверхностью и использованием смазок. Чтобы устранить последствия налипания свинца, бойки перед опытами обрабатывали наждачной бумагой. Создали три варианта контактных граничных условий, которые отражены в таблице.

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.3), соответствующие полученным значениям a/R и относительному обжатию 40%.

Путем интерполяции графиков были определены расчетные коэффициенты трения: эти данные приведены в таблице 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 таблицы, полученные значения коэффициента трения оказались внутри диапазонов значений, определенных другими авторами, сравнение с известными данными показывает хорошую

сходимость результатов. С помощью предложенного метода можно изучать влияние

процессов налипания на инструмент[6,7] на триботехнические показатели процесса.

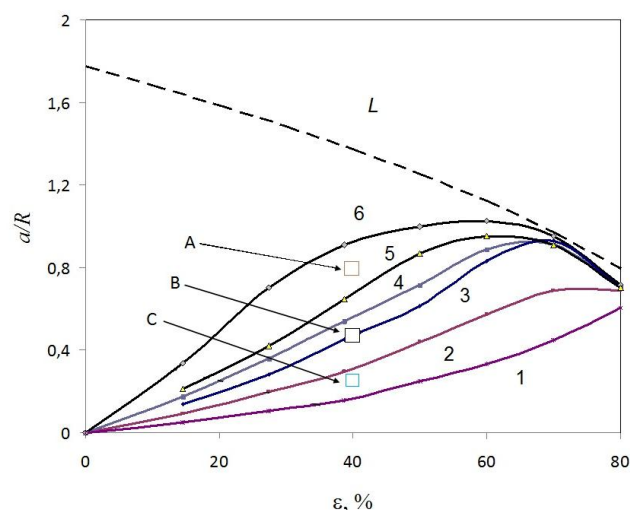


Рис.3. Зависимость параметра a/R от обжатия при различных коэффициентах трения μ : 1 – 0,05, 2 – 0,1, 3 – 0,15, 4 – 0,25, 5 – 0,3, 6 – 0,5;

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

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%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Логинов Ю.Н., Ершов А.А. Способ определения коэффициента трения при пластической деформации. Патент РФ №2505797. МПК G01N 19/02. Оpubл. 27.01.2014. Бюл. № 3.
2. Логинов Ю.Н., Ершов А.А. Определение коэффициента трения при пластической деформации осадкой призматических образцов. Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2014. Т. 80. № 8. С. 51-56.

3. Логинов Ю.Н., Котов В.В. Моделирование процесса прессования трубной заготовки из титанового сплава в программе QFORM 2D/3D. Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. 2010. № 12. С. 36-40.
4. Ershov A.A., Kotov V.V., Loginov Yu.N. Capabilities of QFORM-extrusion based on an example of the extrusion of complex shapes. Metallurgist. 2012. Т. 55. № 9-10. С. 695-701.
5. Ершов А.А., Котов В.В., Логинов Ю.Н. Инновации в проектировании технологии прессования: применение пакета QFORM-EXTRUSION. Материалы 1 межд. конф. Инновации в материаловедении и металлургии. Ч.2. Екатеринбург. УрФУ. 2012. С. 73-83.
6. Логинов Ю.Н. Налипание металла на валки при листовой прокатке. Производство проката. 2006. № 10. С. 9-13.
7. Логинов Ю.Н., Студенок Г.И. Изучение трения при листовой прокатке платины и ее сплавов. Производство проката. 2010. № 7. С. 14-16.