

МЕТОД ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ВНЕШНЕГО ТРЕНИЯ ПРИ ПРОКАТКЕ

Марков Д.С.

Научный руководитель – доцент Пилипенко С.С.

ГОУВПО «Норильский индустриальный институт», г. Норильск

В настоящее время в расчётах энергосиловых параметров прокатки заготовок зачастую в лабораторных условиях используют коэффициент внешнего трения, полученный экспериментальными методами. Из известных почти 20 используют лишь несколько: метод торможения полосы в валках, метод крутящего момента, метод последовательного приближения опытных и расчетных величин усилия прокатки, метод опережения и метод предельного обжатия.

Определение коэффициента трения по опережению, по мнению ряда исследователей даёт наиболее надёжную оценку на тонких полосах, при $l_d / h_{cp} > 3$ (l_d - длина дуги контакта; h_{cp} - средняя толщина полосы), когда высотная деформация приобретает равномерный характер. В этом случае каждая точка по высоте сечения полосы в очаге деформации имеет одинаковую вытяжку и скорость продольного течения.

Общим недостатком первых трёх методов является необходимость установки специальных приспособлений, оборудования и измерительной аппаратуры, что усложняет методы, особенно в производственных условиях.

Наиболее простым способом экспериментального определения коэффициента трения при прокатке является метод предельного обжатия. Если в момент захвата полосы валками равнодействующая сил приложена в точках плоскости входа, то в установившемся процессе прокатки точка приложения равнодействующей смещена внутрь очага деформации и место положения её на дуге захвата определяется углом φ (рис. 1).

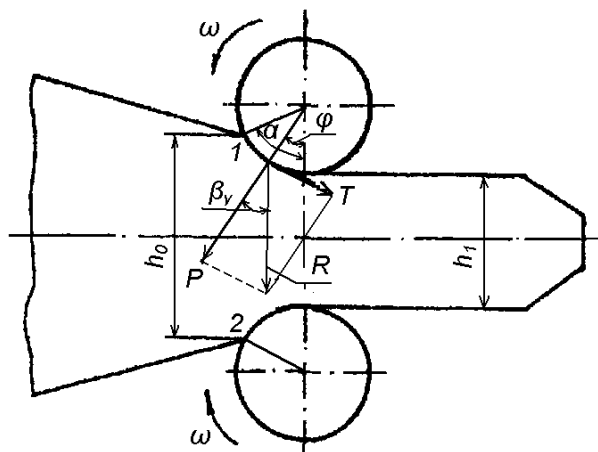


Рис. 1. Схема к определению максимального угла захвата

Составляя уравнение равновесия получим:

$$2T \cos \varphi = 2P \sin \varphi \quad (1)$$

где T - сила трения на контакте вала с заготовкой;

P - сила нормального давления.

Откуда

$$T / P = \operatorname{tg} \varphi, \quad (2)$$

но так как отношение T/P есть коэффициент трения согласно закону Г. Амонтона, то

$$T/P = \operatorname{tg}\beta_y.$$

Из выражений (1) и (2) получим:

$$\varphi = \beta_y \quad (3)$$

где β_y - угол трения в установившемся процессе.

Выразим угол φ через угол захвата α с использованием коэффициента ψ :

$$\varphi = \psi \cdot \alpha \quad (4)$$

где ψ - коэффициент положения равнодействующих сил.

Коэффициент ψ изменяется при прокатке от 0,3 до 0,7, в зависимости от l_d/h_{cp} . При существующем методе определения коэффициента трения по предельному обжатию допускают равномерное распределение давления по дуге контакта, т.е. $\psi = 0,5$. Тогда из выражений (3) и (4) получим:

$$\alpha_y = 2\beta_y = 2f. \quad (5)$$

Из условия (5) коэффициент трения f в установившемся процессе равен:

$$f = \alpha_y / 2. \quad (6)$$

Используя выражение (6) определяют коэффициент трения методом предельного обжатия путём прокатки клинового образца при постоянном разводе валков. В момент захвата переднего конца заготовки валками фактический угол захвата $\alpha < \alpha_y$ и заготовка прокатывается без пробуксовки. По мере продвижения заготовки и увеличения её обжатия (увеличение исходной толщины) угол захвата увеличивается, достигая предельных значений α_y , что вызывает буксование валков по заготовке.

К недостаткам метода можно отнести следующие факторы:

1. При прокатке клинового образца величина отношения l_d/h_{cp} постоянно изменяется по длине образца, а значит, изменяется и коэффициент положения равнодействующих ψ от 0,3 до 0,7, а при допускаемом $\psi = 0,5$.
2. Регламенты представлены в работе исследований показывают влияние угла клиновидности исходной заготовки на величину предельного обжатия Δh_y , угла захвата α_y и коэффициента внешнего трения f_y .

Исследования выполнены на лабораторном двухвалковом стане «120» с шероховатостью валков $R_z = 40$. Заготовки из свинца сечением 40 мм^2 с исходными углами клиновидности $\varphi_1 = 4,7^\circ$ и $\varphi_2 = 11,5^\circ$.

Прокатывали по пять заготовок с каждым из углов φ_1 и φ_2 . По результатам экспериментальных исследований установлено, что угол клиновидности образца, при прочих равных условиях, влияет на величину предельного обжатия Δh_y (рис. 2). При этом с увеличением угла клиновидности величина Δh_y линейно уменьшается.

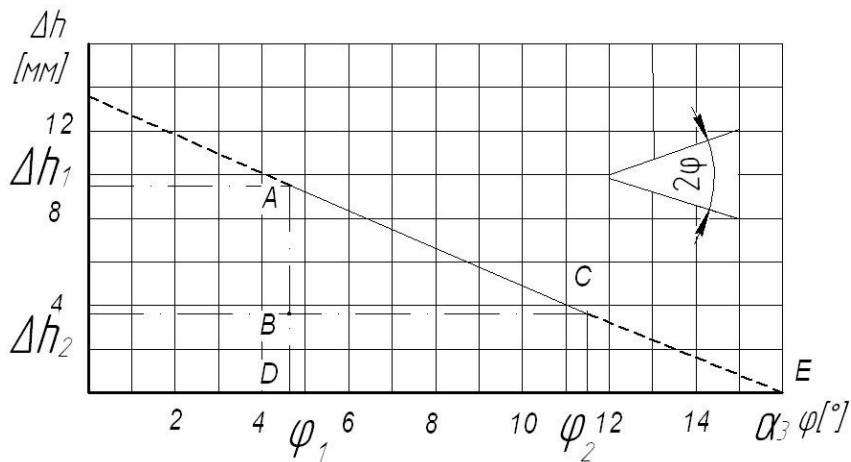


Рис. 2. График зависимости предельного обжатия Δh от угла клиновидности φ

Полученная зависимость показывает, что с увеличением угла клиновидности (φ - угол между плоскостью симметрии и наклонной плоскостью образца) предельное обжатие уменьшается. При $\varphi = 0$, мы получаем предельное обжатие (Δh_y по оси Y) при прокатке равной полосы в установившемся процессе. С другой стороны экстраполяруемую прямую до пересечения с осью абсцисс получаем значение предельного естественного угла захвата α_3 . Действительно из подобия треугольников ABC и ADE (рис. 2) следует:

$$\frac{\alpha_3 - \varphi_1}{\Delta h_1} = \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{\Delta h_1 - \Delta h_2};$$

Откуда

$$\alpha_3 = \frac{\Delta h_1 \cdot \varphi_2 - \Delta h_2 \cdot \varphi_1}{\Delta h_1 - \Delta h_2}$$

и тогда коэффициент трения $f = \operatorname{tg}(\alpha_3) \approx \alpha_3$.

Для примера проанализируем результаты прокатки двух образцов в соответствии с экспериментальной зависимостью $\Delta h = f(\varphi)$ (фиг.1), полученной при прокатке свинцовых образцов на стане «дуо 120» ($R = 60$ мм – радиус валков):

$$\Delta h_1 = 9,5 \text{ мм}; \Delta h_2 = 3,7 \text{ мм}; \varphi_1 = 4,6^\circ; \varphi_2 = 11,5^\circ$$

По способу, принятому за прототип, получаем два разных значения коэффициента трения f :

$$f_1 = \frac{\sqrt{\Delta h_1}}{2\sqrt{R}} = \frac{\sqrt{9,5}}{2\sqrt{60}} = 0,1989; f_2 = \frac{\sqrt{\Delta h_2}}{2\sqrt{R}} = \frac{\sqrt{3,7}}{2\sqrt{60}} = 0,1384.$$

По предлагаемому способу:

$$f = \operatorname{tg} \left[\frac{\Delta h_1 \cdot \varphi_2 - \Delta h_2 \cdot \varphi_1}{\Delta h_1 - \Delta h_2} \right] = \operatorname{tg} \left[\frac{9,5 \cdot 11,5 - 3,7 \cdot 4,6}{9,5 - 3,7} \right] = \operatorname{tg} 15^\circ 54' = 0,2865.$$

Для оценки точности полученных величин коэффициентов трения по существующему и предлагаемому производным методам прокатке свинцовых параллелепипедных образцов на валках без смазки с такими же величинами и обжатиями Δh_1 и Δh_2 , с измерением усилия прокатки при помощи месдоз. Сравнивают опытные величины усилий с расчётными, вычисленными по формуле Целикова. Полученная по-

грешность при сравнении опытных и расчетных величин составляет по предлагаемому способу 2–4%, а по существующему методу погрешность составляет 16–47%.

Применение предлагаемого способа позволит существенно повысить достоверность определения коэффициента трения при прокатке, поскольку при этом способе учитывается зависимость предельной величины обжатия от угла клиновидности образцов, а значит и неравномерность распределения давлений по дуге контакта полосы и валка. Использование достоверных значений коэффициента трения позволит оптимизировать соответствующие режимы прокатки и обеспечит устойчивость процессов при максимальной производительности.