

А.Г. Кузьменко, проф., д-р. техн. наук, В.Д. Каразей, канд. техн. наук,
В.И. Клименко, инж.

Хмельницкий национальный университет

Оценка износостойкости режущей кромки инструмента с применением контактной механики износа лезвия клина

Рассмотрен метод оценки износостойкости режущей кромки инструмента с помощью контактной механики износа лезвия клина. Предложено определение триботехнических характеристик режущей кромки инструмента методом изнашивания клина вращающимся цилиндром, т.е. определение параметров изнашивания K_w и m режущей кромки инструмента. Полученные результаты могут быть использованы для оценки износостойкостирежущей части сельскохозяйственных машин.

оценка износостойкости, режущая кромка, инструмент, лезвие клинка, контактная механика

Контактная механика износа лезвия клина [1]

Рассматривается изнашивание только лезвия (клина), обратная задача.

1). Постановка задачи.

Клин с углом α при вершине (лезвие инструмента) прижимается силой Q к диску с радиусом R (рис.1.), который вращается и не изнашивается, изнашивается в установленном режиме по модели изнашивания:

$$\frac{dU_{w1}}{dS_1} = K_{w1} \cdot \sigma^{m_1}. \quad (1)$$

где U_{w1} – износ в мм;

S – путь трения клина в любой момент времени в мм;

K_{w1} – параметр изнашивания в $1 / (\text{кг} / \text{гг}^2)^m$;

m_1 – параметр изнашивания (безразмерный);

σ – контактное давление, которое возникает при контакте лезвия клина с цилиндром в $\text{кг}/\text{мм}^2$.

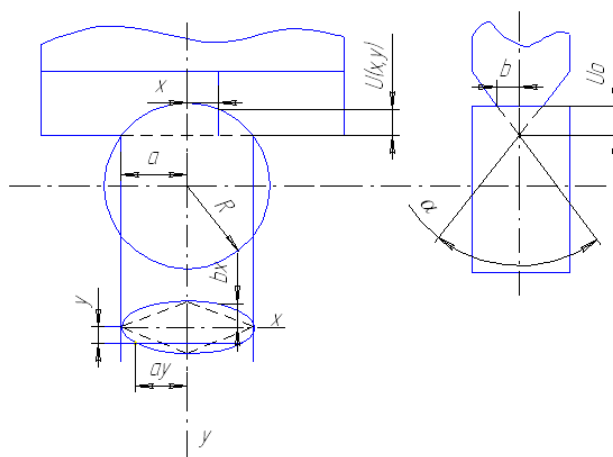


Рисунок 1 – Схема испытаний по схеме клин-цилиндр

Пусть из эксперимента известна зависимость максимальных размеров пятна контакта $a(S_1)$, $b(S_1)$ от пути трения.

Необходимо по результатам опытов определить параметры K_{w1} , m_1 модели изнашивания.

2). Предположения:

а) Будем считать, что составная часть давления направлена по направлению силы Q распределена равномерно по пятну контакта.

б) Предположим, что форма пятна контакта может быть представлена в виде ромба, который вытянут по оси x .

С учетом предположения условие равновесия в контакте имеет вид:

$$Q = 2 \cdot a \cdot b \cdot \sigma, \quad (2)$$

где a , b - размеры пятна контакта в мм;

Q - сила, которая прижимает клин к цилиндру в кг/мм.

Размеры a , b пятна контакта связаны с размерами контактирующих тел и износом:

$$U_{w0} = \frac{a^2}{2 \cdot R}. \quad (3)$$

где R – радиус цилиндра в мм;

U_{w0} – снос в мм.

В другом сечении:

$$U_{w0} = \frac{b}{\alpha \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}. \quad (4)$$

где α - угол заострения клина в $^\circ$.

Приравнивая эти соотношения находим связь между размерами a и b :

$$\frac{a^2}{2 \cdot R} = \frac{b}{\alpha \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}. \quad (5)$$

Отсюда:

$$b = \frac{a^2 \cdot \alpha \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}{2 \cdot R}. \quad (6)$$

Если подставить (6) в условие равновесия получим:

$$Q = \frac{2 \cdot a^3 \cdot \sigma \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}{2 \cdot R}, \quad (7)$$

или:

$$Q = \sigma \cdot a^3 \cdot \frac{\alpha \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}{R}, \quad (8)$$

Отсюда:

$$\sigma = \frac{Q \cdot R}{a^3 \cdot \alpha \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}. \quad (9)$$

3). Решение задачи.

Интегрируя (1) получаем:

$$U_w(S) = K_w \int (\sigma(S))^m \cdot dS \cdot \quad (10)$$

Подставляя (9) в (10) получим:

$$U_w(S) = K_w \int_0^S \left(\frac{Q \cdot R}{\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} \right)^m \cdot \frac{dS}{a^{3m}} \cdot, \quad (11)$$

или с учетом (3):

$$\frac{a^2}{2 \cdot R} = K_w \int_0^S \left(\frac{Q \cdot R}{\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} \right)^m \cdot \frac{dS}{a^{3m}} \cdot \quad (12)$$

Будем считать, что экспериментальная зависимость $a(S)$ представленная в виде степенной аппроксимации:

$$a(S_1) = C \cdot S_1^\beta, \quad S_1 = 2 \cdot \pi \cdot R \cdot n \cdot \tau, \quad (13)$$

где c – параметр изнашивания, β - показатель степени, $\beta = \frac{\lg \frac{a_1}{a_2}}{\lg \frac{S_1}{S_2}}$, n – частота

вращения цилиндра в об/мин., τ - время вращения в мин.

Подставляя (13) в (12) получаем:

$$C^2 \cdot S_1^{2\beta} = R \cdot K_w \cdot \left(\frac{Q \cdot R}{\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} \right)^m \int \frac{dS_1}{C^{3m} \cdot S_1^{3m\beta}} \cdot \quad (14)$$

После интегрирования имеем:

$$c^2 \cdot S^{2\beta} = R \cdot K_w \cdot \left(\frac{Q \cdot R}{\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} \right)^m \cdot \frac{S_1^{1-3m\beta}}{c^{3m} \cdot (1-3m\beta)} \cdot \quad (15)$$

Из условия выполнения уравнения (15) при любых значениях S следует уравнение:

$$2\beta = 1-3m\beta. \quad (16)$$

Отсюда имеем:

$$m = \frac{1-2\beta}{3\beta}. \quad (17)$$

Второй параметр модели K_w находим из (15) с учетом (16):

$$k_w = \frac{C^{3m+2} \cdot 2 \cdot \beta}{R \cdot \left(\frac{Q \cdot R}{\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} \right)^m} \cdot \quad (18)$$

3). Решение задачи, вариант 2.

Возможно представление пятна контакта в форме эллипса с полуосями a и b . Тогда площадь пятна контакта будет:

$$F = \pi ab, \quad (19)$$

а условие равновесия (1) будет:

$$Q = \pi ab \sigma. \quad (20)$$

Разность в площадях за первым и вторым вариантами важна:

$$\varepsilon = \frac{\pi}{2} \approx 1,5. \quad (21)$$

в столько раз будет отличаться средние давления.

Действительно, эллиптическая форма пятна контакта более соответствует действительности.

В этом случае получаем зависимость для давления:

$$\sigma = \frac{Q}{\pi \cdot a \cdot b}. \quad (22)$$

подставив (6) имеем:

$$\sigma = \frac{2 \cdot Q \cdot R}{\pi \cdot a^3 \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}. \quad (23)$$

Учитывая разность (23) и (9) на величину $\pi/2$ при $\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}$ можем сразу записать конечные результаты для параметра m в виде:

$$m = \frac{1 - 2 \cdot \beta}{3 \cdot \beta}, \quad (24)$$

т.е. совпадает с (17), а для K_w :

$$k_w = \frac{2 \cdot C^{3m+2} \cdot \beta}{R} \cdot \left(\frac{\pi \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}{2 \cdot Q \cdot R} \right)^m. \quad (25)$$

Проведение испытаний [2]

Проводились испытания лезвий фуговочных ножей. Контр телом в этом случае служила цилиндрическая втулка, изготовленная из мрамора диаметром $d = 30$ мм, устанавливалась на стальной вал, который вращался с частотой 700 об/ мин.

Образцы крепились с помощью винта на рычаге. На рычаг устанавливался груз $Q = 0,5$ кг. Через равные промежутки времени получалось пятно контакта размерами $a(S)$ и $b(S)$.

Результаты испытаний заносились в таблицу 1.

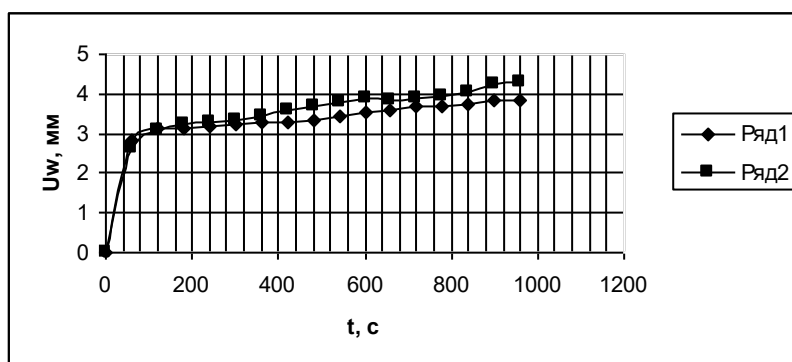
Таблица 1 – Результаты испытаний резцов по дереву

N п/п	a, гг		t, мин	Q, кг
	Сталь 65Г	Сталь X12		
1	0	0	0	0,5
2	2,605	2,623	60	

Продолжение таблицы 1

3	3,0675	2,9	120	0,5
4	3,211	3,0865	180	
5	3,2595	3,1585	240	
6	3,339	3,2345	300	
7	3,439	3,352	360	
8	3,5925	3,3725	420	
9	3,692	3,412	480	
10	3,787	3,443	540	
11	3,8785	3,5285	600	
12	3,854	3,568	660	
13	3,8685	3,6725	720	
14	3,9615	3,704	780	
15	4,031	3,75	840	
16	4,2675	3,8435	900	
17	4,2845	3,8605	960	

По результатам испытаний, приведенных в таблице 1 были построены графики зависимости $U_w(t)$:



Ряд 1 – материал сталь Х12, ряд 2 - материал сталь 65Г).

Рисунок 2 – Графики зависимости $U_w(t)$ по результатам испытаний резцов по дереву (фуговочных ножей)

По методике, которая приведена выше рассчитываем параметры модели изнашивания k_w и m для образцов:
материал сталь 65Г

$$m_1 = \frac{1 - 2 \cdot \beta_1}{3 \cdot \beta_1} = \frac{1 - 2 \cdot 0,18}{3 \cdot 0,18} = 1,185,$$

$$k_{w1} = \frac{2 \cdot c_1^{3m_1+2} \cdot \beta_1}{R} \cdot \left(\frac{\pi \cdot tg \frac{\alpha}{2}}{2 \cdot Q \cdot R} \right)^{m_1} = \frac{2 \cdot 0,169^{3 \cdot 1,185+2} \cdot 0,18}{15} \cdot \left(\frac{3,14 \cdot tg 15^\circ}{2 \cdot 0,5 \cdot 15} \right)^{1,185} = 0,4 \cdot 10^{-7} (1 / (\text{кг} / \text{ГГ}^2)^m),$$

материал сталь X12

$$m_2 = \frac{1 - 2 \cdot \beta_2}{3 \cdot \beta_2} = \frac{1 - 2 \cdot 0,14}{3 \cdot 0,14} = 1,714,$$

$$k_{w2} = \frac{2 \cdot c_2^{3m_2+2} \cdot \beta_2}{R} \cdot \left(\frac{\pi \cdot tg \frac{\alpha}{2}}{2 \cdot Q \cdot R} \right)^{m_2} = \frac{2 \cdot 0,313^{3 \cdot 1,714+2} \cdot 0,14}{15} \cdot \left(\frac{3,14 \cdot tg 15^\circ}{2 \cdot 0,5 \cdot 15} \right)^{1,714} = 0,33 \cdot 10^{-7} (1 / (\text{кг} / \text{ГГ}^2)^m).$$

Выводы:

1. Метод оценки износостойкости режущей кромки инструмента с помощью контактной механики износа лезвия клина можно рекомендовать как метод изучения закономерностей процессов изнашивания режущей кромки инструмента.

2. Получив параметры изнашивания K_w и m возможно прогнозировать изнашивание поверхности, как это показано на примере:

- материал сталь 65Г: $m = 1,185$, $k_w = 0,4 \cdot 10^{-7} (1 / (\text{кг} / \text{ГГ}^2)^m)$;

- материал сталь X12: $m = 1,714$, $k_w = 0,33 \cdot 10^{-7} (1 / (\text{кг} / \text{ГГ}^2)^m)$.

Исходя из эксперимента, можно сказать, что сталь X12 более износостойким материалом, чем сталь 65Г, а это означает, что этот метод является рабочим и может быть использован на практике.

Сисок литературы

1. Кузьменко А.Г., Нассер Г.А. Трибоконтакт жесткого клина и плоскости при неустановившемся режиме изнашивания / Проблемы трибологии. - 1998.
2. Панфилов Е.А. Повышение стойкости дереворежущего инструмента. - М.: Экология, 1991. - 456 с.

The method of estimation of wearproofness of cutting edge of instrument is considered by contact mechanics of wear of blade of wedge. Determination of trybotekhnichesskykh descriptions of cutting edge of instrument is offered by the method of wear of wedge by the revolved cylinder, i.e. determination of parameters of wear of K_w and m of cutting edge of instrument. Can be drawn on got results for estimation of yznosostoykostyrezhushey part of agricultural machines.

Розглянуто метод оцінки зносостійкості ріжучої кромки інструмента за допомогою контактної механіки зносу леза клина. Запропоновано визначення триботехнічних характеристик ріжучої кромки інструмента методом зношування клина обертовим циліндром, тобто визначення параметрів зношування K_w і m ріжучої кромки інструмента. Отримані результати можуть бути використані для оцінки зносостійкої частини сільськогосподарських машин.

Получено 18.08.05