

Ю.М. Овчаренко, канд. техн. наук, доцент
(ДДАУ)

Л.М. Бондаренко, канд. техн. наук, доцент
(ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна)

УТОЧНЕННЯ ДО РОЗРАХУНКУ ДИСКОВИХ МУФТ ТА ГАЛЬМ

Анотація. Запропонована методика знаходження середньої величини радіусу поверхні тертя дискових гальм та муфт з урахуванням їх основної фізичної задачі – перетворення механічної енергії в теплову.

Ключові слова: поверхня тертя, муфта, гальма

Yu.N. Ovcharenko, Ph. D. (Tech.), Associate Professor
(DSAU),

L.N. Bondarenko, Ph. D. (Tech.), Associate Professor
(V. Lazaryan DNURT)

UPDATE TO THE CALCULATION DISC CLUTCHES AND BRAKES

Abstract. We present the technique of finding the average radius of the friction surface of disc brakes and clutches with regard to their basic physical problem – converting mechanical energy into heat.

Keywords: friction surface, clutch, brakes

Одним з найбільш відповідальних вузлів, які визначають надійність і безпеку експлуатації машин та механізмів є гальмівні пристрої. Значення гальмівних пристроїв ростуть у зв'язку з інтенсифікацією виробництва, збільшенням рухомих мас, швидкістю переміщень і частот гальмувань.

Особливо необхідно відзначити, що протягом короткого проміжку часу гальмо і муфта виконують одночасно дві задачі: технічну – здійснити процес гальмування або з'єднання, і фізичну – перетворити механічну енергію в теплову.

Дискові гальма отримали розповсюдження в автомобілях та кранобудуванні. В проектних розрахунках [1-4] гальмівний момент дискового гальма визначається за формулою

$$M_z = m f N R_{cp}, \quad (1)$$

де N – осьове зусилля;
 f – коефіцієнт тертя;
 m – число пар поверхонь тертя;
 R_{cp} – їх середній радіус.

В [1-4] середній радіус тертя знаходиться виходячи із радіуса дії усіх елементарних сил по площині тертя інтегруванням тертя, що виникає на кільцевій площині шириною $d\rho$ на відстані ρ від осі обертання та при тиску p на цій площині

$$M_z = 2\pi f p \int_r^R \rho d\rho = \frac{2}{3} \pi f p (R^3 - r^3). \quad (2)$$

Оскільки загальна осьова сила

$$N = 2\pi p \int_r^R \rho d\rho = \pi p (R^2 - r^2), \quad (3)$$

то після підстановки виразів (2) і (3) в (1) отримуємо

$$R_{cp} = \frac{2}{3} \frac{(R^3 - r^3)}{m(R^2 - r^2)}. \quad (4)$$

Як бачимо, формула (4) отримана для стоячного гальма або утримання вантажу.

У разі гальмування чи включення муфти у дисковому виконанні вони нагріваються до більш високих температур, чим колодкові, тому на цю обставину необхідно звернути увагу.

Відзначимо, що в [3] отримано вираз для величини R_{cp} і із умови рівномірного зношування поверхонь тертя ($pV = \text{const}$)

$$R_{cp} = (R + r) / 2, \quad (5)$$

а середній тиск для кільцевих дисків рекомендується визначати як

$$P = \frac{N}{\pi(R^2 - r^2)} \leq [P]. \quad (6)$$

Оскільки головна фізична задача дискових гальм та муфт це перетворення механічної енергії в теплову, то величину R_{cp} слід знаходити з умови роботи сил тертя. Розглянемо деякі випадки для різних форм фрикційних накладок.

1. Накладка у вигляді колового кільця (рис. 1).

Виділимо елементарний сектор. Його площа складає $\rho\phi d\rho$. Робота сил тертя, що діють на елементарний сектор за один оберт

$$dA = 2\pi\phi f\rho^2 d\rho, \quad (7)$$

де

$$\rho = \frac{N}{\pi(R+r)B\sin(\beta/2)}; \quad B = \frac{R-r}{\sin(\beta/2)}.$$

Проінтегруємо цей вираз в межах $R - R_{cp}$ і із умови рівномірності робіт (температур) одержимо

$$R^3 - R_{cp}^3 = R_{cp}^3 - r^3, \quad (8)$$

звідки отримаємо

$$R_{cp} = \sqrt[3]{\frac{1}{2}(R^3 + r^3)}, \quad (9)$$

замість виразу (5), що рекомендується в довідковій літературі

2. Кільцевий сектор (рис. 2).

Якщо центральний кут сектора ϕ , то довжина елементарного кільця товщиною $d\rho$ складає $\rho\phi$, а площа $\rho\phi d\rho$.

Робота сил тертя, що діють на елементарне кільце за один оберт:

$$dA = 2\pi\phi f\rho^2 d\rho, \quad (10)$$



Рис. 1 – Схема до визначення рівності робіт (температур) відносно середнього радіуса для колового кільця з центральним кутом ϕ і товщиною кільця $d\rho$



Рис. 2 – Розрахункова схема кільцевого сектора

де $\rho = \varphi N / 2n(R^2 - r^2)$;

n – кількість секторів.

Виходячи із основного фізичного призначення гальма роботу сил тертя відносно R_{cp} прийнемо однаковою.

Інтеграл виразу (10) в межах $(R-R_{cp})$ і $(R_{cp}-r)$:

$$\begin{aligned} A_3 &= \pi \varphi f \rho (R^3 - R_{cp}^3); \\ A_6 &= \pi \varphi f \rho (R_{cp}^3 - r^3). \end{aligned} \quad (11)$$

Прирівнявши роботу сил тертя вище і нижче R_{cp} , отримаємо:

$$R_{cp} = \sqrt[3]{\frac{1}{2}(R^3 + r^3)}. \quad (12)$$

3. Прямокутний сектор. Рівняння поля з центром в початку координат:

$$y = (\rho^2 - x^2)^{1/2}. \quad (13)$$

Довжина дуги, що міститься між вертикальними лініями сектора

$$\ell = \int_0^B \sqrt{1 + (y')^2} dx = \rho \arcsin \frac{B}{\rho}, \quad (14)$$

де B – ширина прямокутника.

Площа елементарного кільця складає $\rho \arcsin \frac{B}{\rho}$, а робота сил тертя за один оберт

$$dA = 2\pi p f \rho^2 \arcsin(B/\rho) d\rho, \quad (15)$$

де $\rho = \frac{N}{nB(R-r)}$.

Інтеграл dA в межах $(R-R_{cp})$ і $(R_{cp}-r)$:

$$A = 2\pi p f \int_{R_{ch}(r)}^{R(R_{cp})} \rho^2 \arcsin(B/\rho) d\rho, \quad (16)$$

звідки

$$R_{cp} = \sqrt{\frac{1}{2}(R^2 + r^2)}. \quad (17)$$

Відзначимо, що формула (17) отримана після розкладання $\arcsin(B/\rho)$ в ряд з утриманням одного члена ряду; урахування двох членів ряду дає поправку (2...3) %.

4. Кругова вставка. Для спрощення викладок розрахунок будемо вести як для сегмента з довжиною хорди

$$a = 2\sqrt{(R-\rho)(\rho-r)} \quad (18)$$

і вставкою сегменту $h = R-\rho$ (рис. 3)

Площа хорди товщиною $d\rho$ складає $2\sqrt{(R-\rho)(\rho-r)}\rho d\rho$.

Робота сил тертя в межах $(R-R_{cp})$ і $(R_{cp}-r)$ за



Рис. 3 – Розрахункова схема кругової вставки

один оберт вставки

$$dA = 2\pi\rho \int_{R_{cp}(r)}^{R(R_{cp})} \sqrt{(R-\rho)(R-r) - (R-\rho)^2} \rho d\rho, \quad (19)$$

де $\rho = 4N/\pi(R-r)^2$.

Після відкидання суми складових, які значно менші величини $R\rho$, отримаємо:

$$dA = 4\pi\rho f \int_{R_{cp}(r)}^{R(R_{cp})} \sqrt{\rho R} \rho d\rho. \quad (20)$$

Прирівнявши вирази після інтегрування, отримаємо

$$R_{cp} = 0,758(R^{5/2} + r^{5/2})^{2/5}. \quad (21)$$

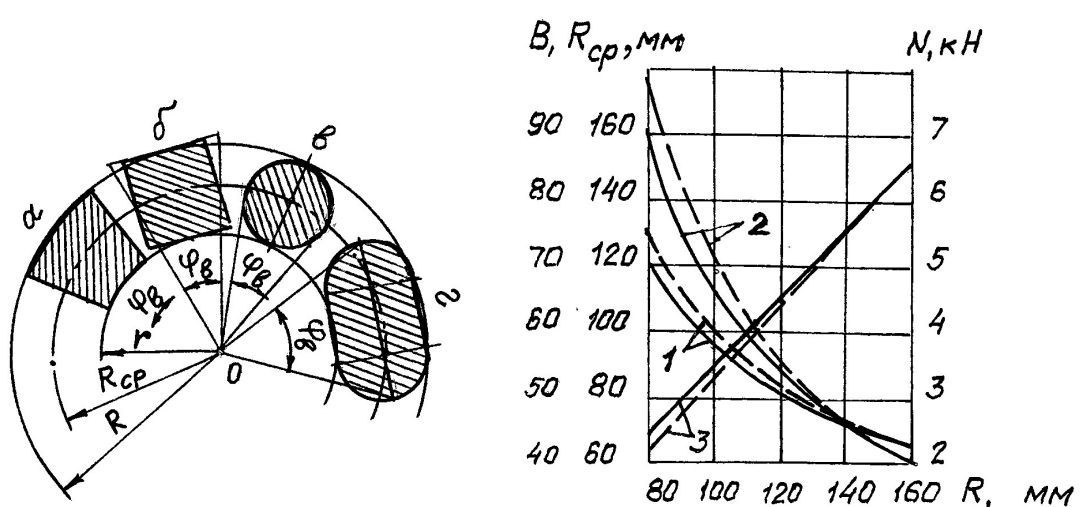
5. Овальна вставка. Ця форма є сумою випадків б) та в) на рис. 4, а середній радіус знаходиться з виразу:

$$R_{cp}^{3/2} + R_{cp}^3 = \frac{1}{2}(R^{3/2} + R^3 + r^{3/2} + r^3). \quad (22)$$

Результати розрахунків за одержаними формулами графічно представлені на рис. 4.

Висновки:

- запропонована методика знаходження середньої величини радіуса поверхні тертя дискових гальм та муфт є більш коректною, чим нормативна, оскільки отримана з урахуванням їх основного фізичного призначення – перетворення механічної енергії в теплову;
- величини осьової сили, середніх величин радіусів поверхонь тертя отримані з використанням запропонованої і нормативної методик дають практично однакові результати при зовнішньому радіусі $R \geq 120$ мм (при меншому радіусі необхідно користуватись запропонованою методикою).



а – кільцевий сектор; б – прямокутний сектор; в – кругла вставка; г – овальна вставка; 1 – ширина прямокутника (B); 2 – середній радіус (R_{cp}); 3 – загально осьова сила (N)

Рис. 4 – Взаємозв'язок між деякими технічними параметрами дискових муфт та гальм в залежності від форми фрикційних накладок

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Тормозные устройства: Справочник / М.П. Александров, А.Г. Лысяков, В.Н. Федосеев [и др.]. – М.: Машиностроение, 1985. – 312 с.
2. Справочник по кранам: В 2 т. Т.2 / М.П. Александров, М.М. Гохберг, А.А. Ковин [и др.]. – Л.: Машиностроение, 1988. – 559 с.
3. Грузоподъемные машины / М.П. Александров, Л.Н. Колобов, Н.А. Лобов [и др.]. – М.: Машиностроение, 1986. – 400 с.
4. Подъемно-транспортные машины / А.А. Райсон. – М.: Машиностроение, 1989. – 536 с.

REFERENCES

1. Aleksandrov, M.P., Lysyakov, A.G. and Fedoseev, V.N. (1985), *Tormoznye ustroystva: Spravochnik* [Brake mechanisms: the Directory], Mashinostroenie, Moscow, Russia.
2. Aleksandrov, M.P., Gokhberg, M.M. and Kovin, A.A. (1988), *Spravochnik po kranam. Tom 1* [Directory on cranes. Vol. 2], Mashinostroenie, Leningrad, USSR.
3. Aleksandrov, M.P., Kolobov, L.N. and Lobov, N.A. (1986), *Gruzopodemnye raboty* [Load-lifting works], Mashinostroenie, Moscow, Russia.
4. Rayson, A.A. (1989), *Podemno-transportnye mashyny* [Hoisting-and-transport machines], Mashinostroenie, Moscow, Russia.

Про авторів

Овчаренко Юрій Миколайович, кандидат технічних наук, доцент, Дніпропетровський державний аграрний університет

Бондаренко Леонід Миколайович, кандидат технічних наук, доцент, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

About the authors

Ovcharenko Yuriy Nikolaevich, Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Associate Professor, Dnepropetrovsk State Agrarian University (DSAU)

Bondarenko Leonid Nikolaevich, Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Associate Professor, Dnepropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan (V. Lazaryan DNURT)