

## ИНТЕЗИВНОСТ НА ИЗНОСВАНЕТО НА БАНДАЖИТЕ В РУДНИЧНИТЕ ЛОКОМОТИВИ ЗА ПОДЗЕМЕН ИЗВОЗ

**Любен Тасев**

*Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски" катедра „Механизация на мините“, 1700 София*

**РЕЗЮМЕ:** Износване е процесът на изменение на размерите на детайлите, произтичащ при триене. Износването на бандажната гривна се явява ресурсно определящ фактор за целият локомотив, оттам и за транспортната схема на рудника. В статията се разглеждат основните фактори, определящи интензивността на износване на бандажните гривни на рудничните локомотиви за подземен извоз.

### INTENSITY OF WEAR OF THE BRACELET IN THE MINE LOCOMOTIVES FOR UNDERGROUND TRANSPORTATION

**Lyuben Tasev**

*University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia*

**ABSTRACT:** Wear is the process of dimensional change of details in result of friction. Wear of the bracelet is a resource determinant of the whole locomotive, hence the transport scheme of the mine. The article examines the main factors determining the intensity of wear of the bracelets of underground mine locomotives.

### Въведение

Под износване се разбира процесът на постепенно изменение на размерите на детайлите, произтичащо при триене. То възниква в резултат на разрушение на повърхностни слоеве под влияние на външните механични въздействия. За износване на бандажите е прието да се счита изменението на техния профил под въздействието на силата, възникваща между колелото и релсата по време на движение. На практика износването на бандажа се оценява по изменението на размера на кръга на търкаляне, а също - намаляването на дебелината на реброто. Размерът на износване на бандажите се измерва с помощта на специални контролно-измервателни прибори.

По проблемите на изследването на процеса на триене и износване е публикувано голямо количество трудове, авторите на които изказват различни мнения за природата на износване (Кислик В.А. 1948, Гуцин Н.В. 1972, Болотин В.В. 1984). Специално в областта на износване на рудничните локомотиви за подземен извоз практически не са публикувани никакви данни. По тази причина тук ще се определи износването по теорията на Крагелски, която може да се приеме за общовалидна. Обобщено позициите им се свеждат до следното:

1. Износването се явява вследствие на зацепването на триещите повърхности и разрушението им за сметка на това зацепване при триене;
2. Износването произтича от развитието на процеси на умора на триещите се повърхности при триене;
3. Износването на повърхностите е обусловено от изменение на механичните свойства на метала при наклепване, а именно: повишаване на крех-

костта вследствие на пластичните деформации при триене за сметка на възникващите напрежения от деформираните участъци на повърхността и недеформираната маса на метала;

4. Износването възниква вследствие на триещите се повърхности с обкръжаващата газова среда, което довежда към образуване на ленти, лесно отделящи се при триене;
5. При износване произтичат местни задириания на метала в отделни точки на повърхността, които при плъзгане се разрушават и довеждат до износване;
6. Процесът на износване е свързан със заваряването на метала в точките на контакта вследствие на високите температури, развиващи се в контактната зона и довеждащи до температурата на стопяване.

Геометричните размери се явяват основни параметри за оценка състоянието на бандажите подложени на износване. Най-характерни са: износването от сили на триене, термическите, електроерозионните и корозионните.

Резултати от изследвания са показали, че износванията в бандажите и други детайли зависи от голямо число случайни фактори: химическия състав на металите и якостните свойства на взаимодействащите с тях детайли, качеството на изработване, климатични и метеорологични условия на експлоатация, режим на натоварване, режими на потегляне и спиране, продължителност на движение с максимално натоварване, тегло на влака и профил на пътя, наситеност на повърхността на триене с абразивни частици, състояние на пътя и зависещите от него динамични натоварвания и др.

Размерът и комбинацията на тези фактори се изменят в широки граници, в следствие на което еднотипни локомотиви износват детайлите и възлите си до различна степен при един и същи пробег по различни пътища.

## Изложение

Износването се определя от два фактора – изминатия път, върху който то се извършва, и интензивността, с която става.

Пътят, за който имаме износване, е реално изминатият път от колело, умножен по коефициента на относително приплъзване.

За да определя аналитично интензивността на износването, ще изхожда от теорията на Крагелски (Крагельский И.В.1977). Съгласно нея, върху износването влияят редица фактори като фрикционните свойства на материалите, контактното налягане и еластичните свойства на материала. При сработени повърхнини, достигнали равновесната грапавост, интензивността на износването се определя по зависимостта:

$$I_h = C_1 a_x p_a \tau_0^{1/2} \Theta^{1-t/2} \left( \frac{kf}{\sigma_0} \right)^t \quad (1)$$

където:  $C_1 = 0,12 \frac{16^{2t/5}}{2,6^{t-3/4}}$

$a_x$  – коефициент на хистерезисните загуби при триене;

$\tau_0$  – тангенциално съпротивление, Pa;

$t$  – показател на фрикционната умора;

$\Theta = \frac{1-\mu^2}{E}$  – еластична константа на материала,  $1/Pa$  ;

$\mu$  - коефициент на Поансон;

$f$  - коефициент на триене;

$\sigma$  – еквивалентно напрежение, Pa;

$p$  – контактено налягане, Pa;

$k \approx 3$  – таблична величина.

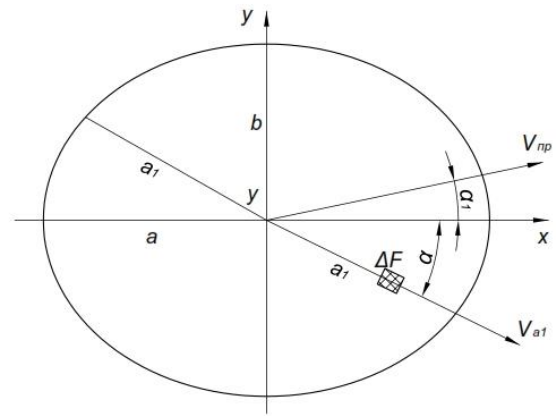
Ако приемем, че с изключение на налягането всички останали параметри остават постоянни в зоната на контакта, то можем да запишем:

$$I_h = A p_a \quad (2)$$

където:

$$A = C_1 a_x \tau_0^{1/2} \Theta^{1-t/2} \left( \frac{kf}{\sigma_0} \right)^t, 1/Pa \quad (3)$$

За да определя износването за един цикъл, ще разгледам безкрайно малко площадка с размери  $\Delta F$  разположена на бандажната гривна виж фиг. 1. Размерите на тази площадка са такива, че на нея се запазват основните зависимости за интензивността на износване. При относително движение на площадката по контакта върху нея преминава графиката на изменението на налягането  $p$  по скоростта на движение.



Фиг. 1. Контактно петно

За да определим средноинтегралното натоварване, ще изходим от времето за преминаване на цялата графика на налягането над площадката:

$$\Delta t = \frac{2a_1}{v_r}, s; \quad (4)$$

където:  $2a_1$  е размерът на площадката по направление на скоростта на движение  $v_o$  .

Пътят на приплъзване  $L_{np}$  , ще бъде равен:

$$L_{np} = v_{np} \Delta t = 2a_1 \frac{v_{np}}{v_o} = 2a_1 \psi, m; \quad (5)$$

където:  $\psi = \frac{v_{np}}{v_o}$  се нарича коефициент на относителното приплъзване или „крип“.

Износването  $h_1$  на елементарната площадка  $\Delta F$  може да се намери по формулата:

$$h_1 = \int_0^{L_{np}} I_h(L) dL \quad (6)$$

където:  $I_h(L)$  - интензивност на износването  $1/m$  ;

$L_{np}$  - път на приплъзване на площадката за един цикъл, m.

Тъй като интензивността на износването зависи от налягането, то за определяне на износването по горната формула е необходимо да се намери зависимостта на налягането от пътя на приплъзване.

Напрежението се разпределя в зоната на контакта по елиптичен закон. Така за разпределението на напрежението може да запишем:

$$p(x, y) = p_o \left( 1 - \frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} \right), Pa; \quad (7)$$

където:  $p_o$  - максималното налягане в зоната на контакта, Pa.

$$p(x, y) = p_0 \left[ 1 - \frac{x^2}{a^2 b^2} (b^2 + a^2 k^2) \right], Pa; \quad (8)$$

След несложни преобразувания и замествания:

$$l^2 = \frac{x^2}{b^2} (b^2 + a^2 k^2), m; \quad (9)$$

където:  $l$  е пътят на приплъзване на елементарната площадка по контактното петно. Като отчетем, че движението се извършва по оста  $a_1$ , можем да запишем:

$$p(x, y) = p_0 \left( 1 - \frac{l^2}{a_1^2} \right), Pa; \quad (10)$$

Определям зависимостта на напрежението от пътя на приплъзване  $dl$ :

$$dl = v_0 dt; dt = \frac{dl}{v_0}; L = v_{np} dt = dl \frac{v_{np}}{v_0} \quad (11)$$

$$L = \int_0^l dl = \frac{v_{np}}{v_0} l \quad (12)$$

откъдето:

$$l = L \frac{v_0}{v_{np}} = L \psi \quad (13)$$

Тогава:

$$p(L) = p_0 \left[ 1 - \left( \frac{v_0}{v_{np}} \right)^2 \frac{L^2}{a_1^2} \right] = p_0 \left( 1 - \frac{L^2}{L_0^2} \right) \quad (14)$$

Последната формула дава възможност да се пресметне налягането.

От формула 14 се вижда, че зависимостта на налягането от пътя на приплъзване за елементарна площадка от пътя остава параболична. Замествам 14 в 13 с отчитането, че  $I_h = Ap$  и:

$$h_1 = \int_0^{L_0} I_h(L) dL = \int_0^{L_0} Ap(L) dL = \int_0^{L_0} Ap_0 \left( 1 - \frac{L^2}{L_0^2} \right) dL \quad (15)$$

След интегриране получаваме:

$$h_1 = \frac{2}{3} Ap_0^\alpha L_0 = \frac{2}{3} I_h L_0 = \frac{2}{3} Ap_0^\alpha a_1 \psi, m; \quad (16)$$

Горната зависимост показва, че износването между контактната двойка релса - бандаж, се определя изключително от факторите на триене, определени от коефициента  $A$ , контактното налягане  $p_0$  и относителното приплъзване  $\psi$  между колелото и бандажа.

За да определим размера на износването само от геометричните размери на бандажната гривна, релсата и

натоварването върху нея, ще използвам формулите на Херц, от които първо се определят размерите на контактната площадка и максималното налягане:

$$a = n_a \sqrt[3]{\frac{3 \Theta P}{2 \sum k}} \quad (17)$$

$$b = n_b \sqrt[3]{\frac{3 \Theta P}{2 \sum k}} \quad (18)$$

$$p_0 = \frac{n_p}{\pi} \sqrt[3]{\frac{3 \left( \frac{\sum k}{\Theta} \right)^2}{2}} P \quad (19)$$

където:  $a$  и  $b$  са полуосите на елиптическия контакт;

$n_a, n_b, n_p$  са таблични величини, които зависят от радиусите на контактуващите повърхности.

След заместване на  $p_0, a_1, b$  във формула 16, ще получим:

$$h_1 = \frac{2}{3} A \left( \frac{n_p}{\pi} \right)^\alpha \left( \frac{3}{2} \right)^{1/3(1+\alpha)} \left( \frac{\sum k}{\Theta} \right)^{1/3(2\alpha-1)} P^{1/3(1+\alpha)} k_1 \frac{v_{np}}{v_0} \quad (20)$$

където:  $k_1 = \frac{a}{a_1}$

От тази зависимост се вижда, че интензивността на износването зависи от фрикционните свойства на контактуващите материали ( $f, t, \alpha_x, \tau_0$ ), натоварването ( $p$ ) и еластично-якостните свойства на материала ( $E, \sigma$ ).

Очевидно е, че с увеличаване на якостните свойства на контактуваща двойка интензивността на износването намалява. Тя намалява и с намаляване на фрикционните параметри на контакта и най-вече с коефициента на триене. В рамките на контакта всички тези параметри се променят в по-голяма или по-малка степен, като зависят от различните условия на контактуване и най-вече от размера на контактното налягане, коефициента на триене и коефициента на фрикционната умора.

Аналитичното изразяване на тези взаимозависимости е прекалено сложна задача, свързана с изясняване на допълнителни коефициенти за конкретни материали. Тяхното определяне и решаването на задачата би могло да стане с помощта на числени методи, но това не е обект на тази статия.

За условията на контактуване на бандажна гривна с радиус  $R_g$  с релса с радиус  $R_p$  сумата от кривините  $\sum k$  се определя по формулата:

$$\sum k = \frac{R_g + R_p}{R_g R_p}, 1/m \quad (21)$$

За най-често използваните в минната практика размери:

- радиус на бандаж  $R_g = 0,34, m$ ;
- закръгление на главата на релсата:  $R_p = 0,2, m$

ще получим  $\sum k = 7,94$ . За стоманени детайли  $\Theta = 2,3 \cdot 10^{11}$ , Pa. При този размер на контактуващите тела  $n_a = 1,4$ ,  $n_b = 0,63$ , а  $n_p = 0,88$ . За най-използваните стомани, участващи в зависимост (3), параметрите имат стойност  $a_x = 0,05$ ,  $\tau_0 = 0,1$ , MPa  $\sigma_0 = 2$ , MPa. При тези стойности параметърът А има стойност  $7,2 \cdot 10^{-14}$ ,  $1/Pa$ . Оттук при така приетите условия, интензивността на износване на бандажната гривна за руднични условия варира от  $10^{-7}$  до  $10^{-8}$ .

### Заклучение

В статията са разгледани основните зависимости, които определят износването на бандажните гривни при движение на локомотив. За целта се базираме на теорията на Крагелски. Формулирани са фрикционните коефициенти, които определят триенето в условията на работа на рудничните локомотиви за подземен извоз. На базата

на реалното приплъзване са определени действително изминатият път, който дава възможност да се определи интензивността на износване и да се прогнозира ресурсът на бандажните гривни.

### Литература

- Кислик В.А., Износ деталей паравозов, Москва, 1948;  
Гущин Н.В., Повышение срока службы колес подвижного состава железных дорог, Ростов на Дон, 1972;  
Болотин В.В., Прогнозирование ресурса машин и конструкций, Москва, 1984;  
Крагельский И.В., Основы расчетов на трение и износ, Москва, 1977;  
Спицын М.А., Исследование сцепления колес с рельсами при торможении, Транспорт, Москва, 1963.

Статията е препоръчана за публикуване от кат. „Механизация на мините“.