ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1975

Seria: Mechanika z. 53 Nr kol. 439

Władysław Bińkowski

PRZYDATNOŚĆ TWORZYW SZTUCZNYCH NA WIEŃCE KÓŁ JEZDNYCH SZYNOWYCH MASZYN TRANSPORTU BLISKIEGO

Streszczenie. Zastosowanie w maszynach transportu bliskiego, kół jezdnych o wieńcach z tworzyw sztucznych przyczynia się do znacznego zmniejszenia zużycia bieżników kół oraz szyn. Dzięki dużej odkształcalności tworzyw sztucznych, następuje zmniejszenie stykowych nacisków powierzchniowych co pozwala na dobór średnic wieńców kół zbliżonych do wartości średnic kół stalowych. Wieńce z TS wykazują nieco większy opór tarcia potoczystego, nie rzutuje to jednak na dobór mocy silnika mechanizmu jazdy.

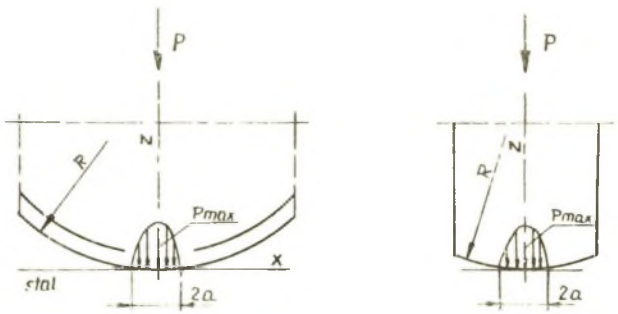
Wstęp

Wśród przyczyn przestojów dźwignic, przemieszczających się po torze szynowym, znaczny udział dotyczy przypadków odmowy działania mechanizmów jazdy tych maszyn. Najbardziej odczuwalne są skutki przedwczesnego zużycia współpracujących ze sobą elementów: koło jezdne - szyna [1÷4].
Jedną z możliwości zwiększenia trwałości wspomnianych elementów jest zastosowanie do wykonania bieżników kół a także obrzeży - tworzyw sztucznych - (TS) np. poliamidu 6 (PA6) czy poliuretanu (PU). Przeprowadzone w tym zakresie dotychczasowe doświadczenia są na tyle obiecujące [5], że można wiązać duże nadzieje na poprawę istniejącego stanu. Koła jezdne, wykonane z TS wykazują bowiem nie tylko bardzo małe zużycie bieżników i obrzeży lecz również powodują minimalne zużycie szyn, po których się przemieszczają. Oprócz dużej odporności na zużycie ścierne tworzywa sztuczne w odróżnieniu od metali cechują się dużą zdolnością do tłumienia drgań.

Dobór podstawowych rozmiarów geometrycznych

Tworzywa sztuczne w rodzaju poliamidów czy poliuretanów wykazują małe w porównaniu ze stalą wartości modułu sprężystości, co powoduje dużą ich odkształcalność pod wpływem obciążenia. Przy nacisku koła jezdnego z bieżnikiem o powierzchni pasa kulistego na płaską szynę, zamiast styku punktowego wskutek odkształcalności koła występuje styk powierzchniowy. W wyniku zwiększa się nośność koła jezdnego i następuje spadek naprężeń stykowych.

Niech koło jezdne, toczące się po płaskiej szynie obciążone jest siłą pionową P, przyłożoną w środku kuli o promieniu R, opisanej na bieżniku koła (rys. 1).



Rys. 1

Wskutek odkształcenia bieżnika w okolicy styku z szyną, zamiast styku punktowego, utworzy się ślad zetknięcia w postaci koła o promieniu:

a_s - w przypadku koła jezdnego wykonanego ze stali,
a_t - w przypadku koła jezdnego wykonanego z TS (np. poliamidu 6).

Z przekształcenia wzoru Hertza, można te promienie wyrazić:

$$a_{s,t} = \sqrt[3]{\frac{P \cdot \delta}{k_{s,t}}}, \tag{1}$$

gdzie:

$$\delta = \frac{4}{\frac{1}{R_{11}} + \frac{1}{R_{12}} + \frac{1}{R_{21}} + \frac{1}{R_{22}}}, \tag{1a}$$

zaś

$$k_{s,t} = \frac{8}{3} \cdot \frac{E_1 \cdot E_2}{E_2(1-\nu_1^2) + E_1(1-\nu_2^2)}. \tag{1b}$$

Ponieważ dla omawianego przypadku: $R_{11} = R_{12} = R$ oraz $R_{21} = R_{22} = \infty$, to $\delta = 2R$

Stosunek

$$\frac{a_t}{a_s} = \sqrt[3]{\frac{k_s}{k_t}}, \tag{2}$$

gdzie:

$$k_s = \frac{8}{3} \cdot \frac{E_s^2}{E_s(1-\nu_s^2) + E_s(1-\nu_s^2)} = \frac{8}{3} \frac{E_s}{2(1-\nu_s^2)},$$

$$k_t = \frac{8}{3} \frac{E_t \cdot E_s}{E_s(1-\nu_t^2) + E_t(1-\nu_s^2)}.$$

Jeżeli przyjąć, że wartości liczby Poissona $\nu_t \cong \nu_s$, to

$$\frac{a_t}{a_s} = \sqrt[3]{\frac{E_s\left[E_s(1-\nu_t^2) + E_t(1-\nu_s^2)\right]}{2(1-\nu_s^2)\, E_t \cdot E_s}} = \sqrt[3]{\frac{E_s + E_t}{2\, E_t}}. \qquad (2a)$$

Ponieważ $E_t \cong 0{,}01 \cdot E_s$, to:

$$E_s + E_t \cong E_s,$$

wobec tego:

$$\frac{a_t}{a_s} \cong \sqrt[3]{\frac{E_s}{2E_t}} \cong 3{,}7.$$

W przypadku zetknięcia kulistego bieżnika koła z płaską szyną, największy nacisk stykowy w środku koła będącego śladem zetknięcia, wynosi:

$$p_{max} = \frac{3}{2} \frac{P}{\pi a^2},$$

wobec tego stosunek:

$$\frac{p_{t\,max}}{p_{s\,max}} = \left(\frac{a_s}{a_t}\right)^2 \cong \frac{1}{3{,}7^2} \cong \frac{1}{13{,}7}$$

Wynika stąd, że duża odkształcalność TS kompensuje jego mniejszą od stali wytrzymałość, przyczyniając się do zmniejszenia wartości stykowego nacisku powierzchniowego.

Przy jednakowych rozmiarach geometrycznych kół jezdnych z bieżnikami o powierzchni sfery kulistej, przemieszczających się po stalowych szynach płaskich, wystąpią w przypadku zastosowania TS - naciski stykowe kilkunastokrotnie niższe niż dla kół stalowych. Wartość p nie przesądza o możliwościach pojawienia się odkształceń trwałych, gdyż w tym miejscu zachodzi trójosiowy stan napięcia, określony naprężeniami głównymi

$$\sigma_x = \sigma_y = -\frac{1}{2}(1-2\nu) \cdot p; \quad \sigma_z = -p$$

wg hipotezy energii odkształcenia postaciowego

$$\sigma_{zr}^2 = \sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2 - \sigma_x \sigma_y - \sigma_y \sigma_z - \sigma_z \sigma_x = (\tfrac{1}{2} - \nu^2).p^2.$$

Dla $\nu = 0,3$, $\sigma_{zr} = 0,2\ p \leqslant k_c$

$$p_{dop} \cong 5 \cdot k_c$$

Przykład

Średnica koła jezdnego D = 2R = 400 mm. Przy obciążeniu koła jezdnego ze stali 60G o twardości na powierzchni $\leqslant$ 270 HB siłą P = 4000 daN stykowy nacisk powierzchniowy:

$$p_s = 0,388 \sqrt[3]{P \cdot \frac{E^2}{R^2}} = 0,388 \sqrt[3]{4000 \frac{(2,1.10^6)^2}{20^2}} = 13700\ \text{daN/cm}^2$$

$$p_s < p_{dop} = 14000\ \text{daN/cm}^2 \quad [6]$$

Dla koła jezdnego z TS (poliamid 6)

$$p_t = p_s \left(\frac{a_t}{a_s}\right)^2 = \frac{p_s}{13,7} \cong 1000\ \text{daN/cm}^2$$

Promienie kół - śladów zetknięcia wyniosą:
dla koła stalowego

$$a_s = \sqrt[3]{\frac{3}{2} \frac{1-\nu^2}{E} P.R} = \sqrt[3]{\frac{3}{2} \left(\frac{1-0,3^2}{2,1.10^6}\right) 4000 \cdot 20} = 0,373\ \text{cm}$$

dla koła z TS

$$a_t = a_s \cdot 3,7 = 0,373 \cdot 3,7 = 1,38\ \text{cm}$$

W przypadku kół walcowych współdziałających z szyną płaską, maksymalny nacisk powierzchniowy w okolicy styku wynosi:

$$p_{max} = \sqrt{\frac{P \cdot E_s.E_t}{\pi\ (1-\nu_t^2).b.R(E_s+E_t)}} = \sqrt{\frac{E_s \cdot E_t}{\pi\ (1-\nu_t^2)(E_s+E_t)}} \sqrt{\frac{P}{b.R}} = c\sqrt{\frac{P}{b.R}},$$

gdzie:

b - odcinek zetknięcia koła walcowego z szyną płaską.

Przyjmując najniekorzystniej niską wartość modułu sprężystości tworzywa: $E_t = 17000$ daN/cm^2 oraz wyrażając stosunek:

$$\frac{E_s \cdot E_t}{E_s + E_t} = E_t, \quad \text{ponieważ} \quad E_s \gg E_t$$

jak również przy przyjęciu $\nu_t = 0{,}4$ otrzymuje się wartość

$$c \cong \sqrt{\frac{E_t}{\pi(1-\nu_t^2)}} = \sqrt{\frac{17000}{\pi(1-0{,}4^2)}} \cong 80,$$

stąd

$$p_{max} = 80\sqrt{\frac{P}{b.R}} \leqslant p_{dop}$$

Przyjmując $p_{dop} = 400$ daN/cm^2 przy długotrwałym obciążeniu, zaś przy krótkotrwałym wartość o 50% wyższą: $p_{dop} = 600$ daN/cm^2,
przy spełnieniu warunków:

- temperatura otoczenia $t_o \leqslant 35^oC$,
- prędkość jazdy $v_j < 5$ m/s, dla skrajnego przypadku otrzymuje się:

$$p_{max} = p_{dop} = 80\sqrt{\frac{P}{b.R}} = 400.$$

Stąd promień koła jezdnego

$$R = 0{,}04 \cdot \frac{P}{b}; \qquad \text{gdzie: } P\ [\text{daN}]\ R, b\ [\text{cm}]$$

Opory ruchu

Opór toczenia koła jezdnego:

$$W_t = \frac{f}{R} \cdot P,$$

gdzie:

$\frac{f}{R}$ - liczba tarcia potoczystego.

Dla PA6 (koła walcowe po płaskiej szynie) liczba tarcia potoczystego przyjmuje wartości $(8 \div 10) \cdot 10^{-3}$ w zakresie temperatur $(20 \div 60^oC)$ [7,8]. Dla kół stalowych, toczących się po szynie stalowej płaskiej $\frac{f}{R} = (0{,}7 \div 1{,}5) \cdot 10^{-3}$.

Przyrost całkowitego oporu jazdy spowodowany zwiększoną liczbą tarcia potoczystego kół jezdnych z TS (z uwzględnieniem oporu tarcia łożysk tocznych) jest stosunkowo niewielki i wynosi ok. 20-40% całkowitego oporu jazdy kół stalowych. Przyrost ten jest znacznie mniejszy w przypadku łożyskowania ślizgowego.

Wnioski

Zastosowanie TS na bieżniki a także obrzeża kół jezdnych szynowych maszyn transportu bliskiego stwarza możliwości znacznego zwiększenia trwałości kół jezdnych i szyn.
Duża zdolność tłumienia drgań wieńców kół jezdnych wykonanych z TS pozwala na ograniczenie wpływu niekorzystnych zjawisk dynamicznych, pojawiających się zwłaszcza przy większych prędkościach ruchu jazdy.
Dzięki dużej odkształcalności TS, następuje zmniejszenie wartości maksymalnych nacisków na powierzchni śladu zetknięcia koła z szyną co pozwala na dobór zbliżonej wartości jego średnicy ze średnicą koła stalowego. Nie pociąga to za sobą konieczności zmiany przełożenia przekładni mechanizmu jazdy. Zwiększenie odkształcalności TS objawia się również wzrostem oporu tarcia potoczystego i 20÷40% wzrostem całkowitego oporu jazdy.

LITERATURA

[1] BIŃKOWSKI W. i inni: Problemy Remontowe Hutnictwa 41, 1970, s.1÷11.
[2] BIŃKOWSKI W. i inni: Problemy Remontowe Hutnictwa 45, 1971, s.10÷13.
[3] BIŃKOWSKI W.: Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Mechanika z.52, 1973, s. 97÷106.
[4] BIŃKOWSKI W.: Problemy Remontowe Hutnictwa 3, 1973, s. 21÷25.
[5] Polyamid - Katzlaufräder. Maschinenmarkt, 59, 1969.
[6] PIĄTKIEWICZ A., SOBOLSKI R.: Dźwignice WNT, Warszawa 1969.
[7] ADAMCZYK J., BIŃKOWSKI W., PILLICH W. i inni: Techniczne i ekonomiczne aspekty stosowania tworzyw sztucznych w budowie dźwignic, urządzeń przeładunkowych i urządzeń transportu ciągłego. Praca naukowo-badawcza, niepublikowana. Instytut Podstaw Konstrukcji Maszyn, Gliwice 1974.
[8] TIETZ J.: "Fördern und Heben" 7/1969, s. 424-428.

ПРИГОДНОСТЬ ПЛАСТМАСС ДЛЯ ОБОДОВ ХОДОВЫХ РЕЛЬСОВЫХ КОЛЕС СРЕДСТВ БЛИЖНЕГО ТРАНСПОРТА

Р е з ю м е

Применение ходовых колёс с ободами из пластмасс в средствах ближнего транспорта является причиной меньшего износа ободов и рельсов. Благодаря большой деформируемости пластмасс наступает уменьшенное удельное давление что даёт возможность подбирать диаметр ободов колёс похожий на диаметр стальных колёс. Обода из пластмасс проявляют незначительно более высокое сопротивление трения качения, однако этот факт не влияет на подбор мощности двигателя ходового механизма.

THE ADAPTABILITY OF PLASTICS TO THE PRODUCTION OF TRAVELLING-WHEEL RIMS OF SHORT - DISTANCE RAIL TRANSPORTERS

S u m m a r y

The application of travelling wheels with rims made of plastics in short distance transporting machines contributes to a considerable reduction of the wear of wheel treads and rails. Due to the good deformability of plastics the contact pressure on their surfaces is reduced, so that it becomes possible to choose such diameters of the wheel rims that approach the values if the diameters of steel wheels. Plastics rims display a somewhat greater rolling friction drag, but this does not bear upon the choice of the power output of the engine of the vehicle.