

Jan Rynik

NIEPRAWIDŁOWOŚCI W PROCESIE WSPÓŁPRACY KÓŁ GNIAZDOWYCH I ŁAŃCUCHOW OGNIWOWYCH NAPĘDÓW ŁAŃCUCHOWYCH MASZYN GÓRNICZYCH

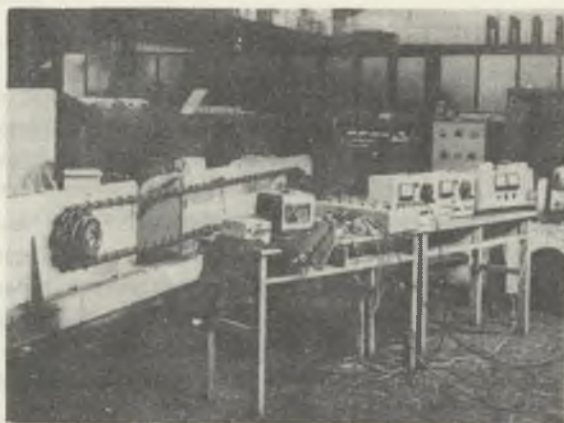
Streszczenie. W pracy określono na podstawie badań doświadczalnych podstawowe nieprawidłowości i zaburzenia zachodzące w procesie współpracy kół gniazdowych i łańcuchów ogniowych. Podano możliwości poprawy konstrukcji kół gniazdowych oraz przeprowadzono porównawcze badania sprawności kół aktualnie produkowanych i kół o zmiennej konstrukcji w funkcji stopnia zużycia kół i łańcuchów ogniowych.

1. Wstęp

Pierwotnym technicznym zastosowaniem łańcucha ogniowego była funkcja elementu nośnego. Stopniowo zaczęto go stosować jako cięgno w układach z napędem mechanicznym. W ostatnim trzydziestoleciu łańcuch ogniowy znalazł powszechne zastosowanie w napędach łańcuchowych maszyn górniczych. Proces współpracy łańcucha z kołem napędowym w tych nowych odpowiedzialnych zastosowaniach pozostał praktycznie mało rozeznany mimo dużego znaczenia konstrukcyjnego. Geometryczny kształt kół napędowych zasadniczo nie różni się dzisiaj od stosowanego od dawna w mało odpowiedzialnych urządzeniach.

Aby sprostać coraz większym wymaganiom wytrzymałościowym i wzrostowi mocy napędów, następował postęp głównie w technologii wytwarzania kół i łańcuchów (wzrost wytrzymałości i odporności na zużycie) oraz stały wzrost wymiarów i ciężarów stosowanych ogniw łańcuchów i kół napędowych. Występujący zastój w rozwoju konstrukcji kół gniazdowych wynika w dużej mierze z braku dostatecznej znajomości u konstruktorów zjawisk zachodzących w procesie zazębienia oraz z niedoceniań przez nich badań weryfikujących prawidłowość i skuteczność działania cech konstrukcyjnych kół gniazdowych napędów łańcuchowych maszyn górniczych.

Badania statystyczne przerw w eksploatacji spowodowanych zerwaniem się cięgien łańcuchowych przenośników zgrzeblowych kombajnów i strugów wykazują, że udział tych przerw wynosi około 60% łącznego czasu przerw spowodowanych przez usterki i awarie maszyn i urządzeń górniczych. Moc całkowita czynnych napędów łańcuchowych przenośników zgrzeblowych, kombajnów i strugów wynosiła w 1974 roku w polskim górnictwie węglowym ponad 320 megawatów. W tym samym okresie zużyto około 20.000 ton łańcuchów wykonanych z deficytowych stali stopowych. Przytoczone dane wskazują na duże znaczenie dla górnictwa węglowego badań nad zwiększeniem trwałości, niezawodności i sprawności napędów łańcuchowych maszyn górniczych.



Rys. 1. Stanowisko doświadczalne do badań napędowych kół gniazdowych

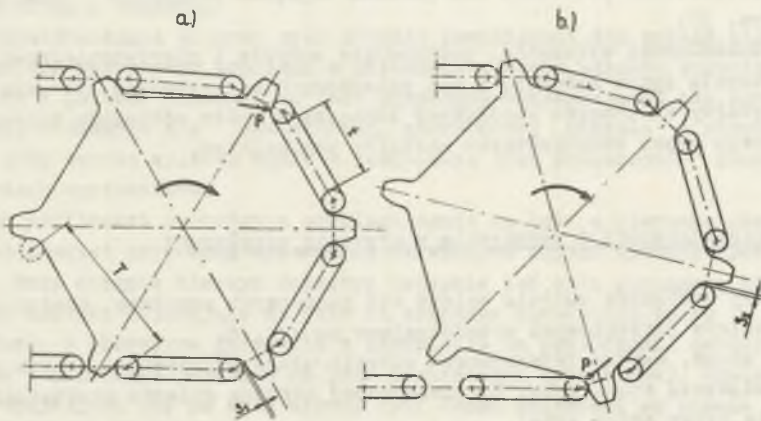
W Instytucie Mechanizacji Górnictwa prowadzone są od kilku lat kompleksowe badania procesu współpracy kół gniazdowych i łańcuchów. Badania te prowadzone są na stanowisku badawczym w Instytucie, na doświadczalnym przenośniku zgrzeblowym w Kopalni Anna oraz w normalnych warunkach eksploatacyjnych. W pracy omówiono nieprawidłowość procesu współpracy kół gniazdowych i łańcuchów ogniowych i określono wytyczne do stosowania korzystniejszych rozwiązań konstrukcyjnych w napędach łańcuchowych maszyn górniczych.

2. Charakter i przebieg współpracy kół gniazdowych i łańcuchów ogniowych

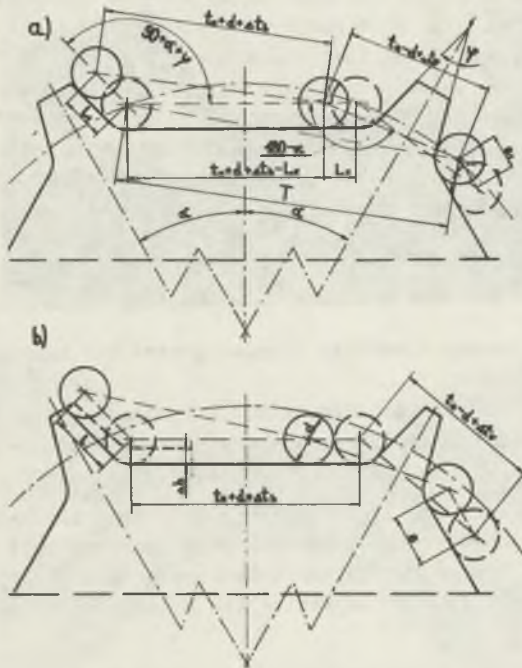
Współpraca przy nominalnym stosunku podziałek łańcucha i koła, kiedy to ogniwa czynne osiągają bezpośrednio w gniazdach koła na średnicy podziałkowej, praktycznie nie zachodzi w normalnych warunkach pracy napędu łańcuchowego ze względu na odchyłki wykonawcze i postępujące zużycie ogniwa łańcucha i gniazd kół.

W aktualnie stosowanych napędach łańcuchowych maszyn górniczych współpraca kół gniazdowych z łańcuchami ogniowymi odbywa się przy stosunku podziałek ogniwa łańcucha i koła większym od nominalnego ($\frac{z}{z_n} > a_n$) [1]. Przy tym stosunku punkt zetknięcia wchodzącego w zazębienie z kołem znajduje się powyżej średnicy podziałkowej koła. W pierwszej fazie współpracy poślizg ogniwa po powierzchni roboczej zęba odbywa się w kierunku dna gniazda, a w drugiej fazie współpracy po dnie gniazda w kierunku obrotu koła (rys. 2a i rys. 3).

Poślizgi ogniwa na kole (l po powierzchni roboczej zęba i s po dnie gniazda) zależą od wzrostu podziałek łańcucha Δt i wielkości przesunię-



Rys. 2. Charakter zazębienia koła gniazdowego z łańcuchem ogniwowym
 a) przy $\frac{t}{T} > a_n$ (zazębienie normalne), b) przy $\frac{t}{T} < a_n$ (zazębienie specjalne)



Rys. 3. Poślizgi ogniw czynnych (poziomych) na kole przy zazębieniu normalnym $\frac{t}{T} > a_n$
 a - koło nowe wykonane wg wymiarów nominalnych i łańcuch wydłużony, b - koło zużyte i łańcuch wydłużony

cia rzeczywistego położenia dna gniazda względem położenia nominalnego Δb (rys. 3).

Niedokładności wykonania, postępujące zużycie i nierównomierność procesu zużycia ogniw łańcucha i kół gniazdowych są przyczyną, że rzeczywiste kształty wieloboków współpracy łańcucha z kołem odbiegają znacznie od założonego przez konstruktorów kształtu nominalnego.

3. Nieprawidłowości i zaburzenia w procesie współpracy

Typowy charakter zużycia gniazd kół napędowych seryjnie produkowanych przenośników zgrzeblowych przedstawiono na rys. 4.

Jak widać, bardzo intensywnemu zużyciu ulega napędzająca strona gniazda a zwłaszcza stopa zęba. Na nieroboczej stronie gniazda praktycznie zużywa się tylko stopa zęba.



Rys. 4. Typowy charakter zużycia gniazd kół napędowych

Przeprowadzone badania współpracy kół i łańcuchów oraz przebiegu zużycia [1, 2] wykazały następujące zasadnicze nieprawidłowości procesu zazębienia:

- stopniowe wgniatawanie się ogniw czynnych do wrębów międzyczębnych,
- ograniczona zdolność ogniw do swobodnego przemieszczania się w gniazdach (poślizgu) w kierunku obrotu koła napędowego,
- zaburzenia procesu zazębienia wynikające z nadmiernego wzrostu podziałki łańcucha.

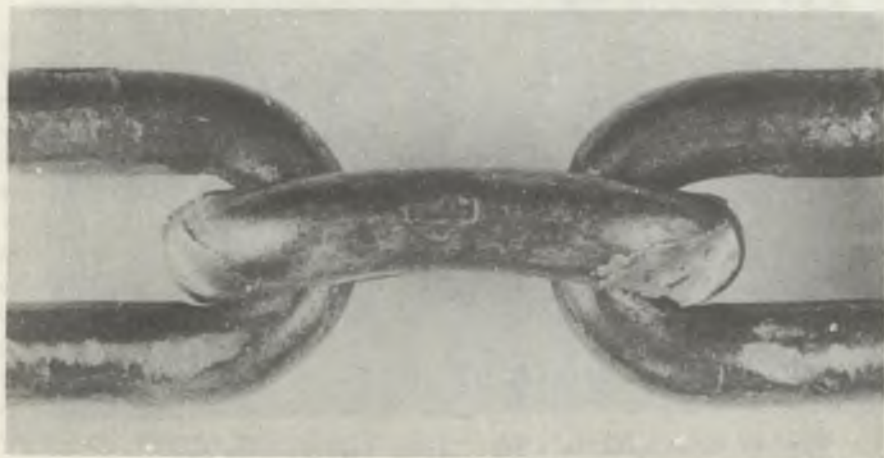
Zjawisko wgniatawania i zakleszczania się ogniw we wrębach spowodowane jest intensywnym zużywaniem się stopy zębów. Niekorzystnymi skutkami tego zjawiska dla pracy koła są wydłużone drogi poślizgu ogniw po powierzchni roboczej zęba przy zazębieniu i powierzchni nieroboczej zęba przy wyzębieniu.

niu oraz zwiększony stopień trudności wyjścia z zazębienia ogniw przy napiętym cięgnię biernym.

Niewystarczająca długość oraz kształt powierzchni den gniazd nie zapewnia ogniwom swobodnego poślizgu w gniazdach w miarę wzrostu zużycia ogniw łańcucha i gniazd. Zjawisko to jest przyczyną zakleszczenia się ogniw we wrębach, zużywania się powierzchni nieroboczej gniazda i utrudnienia przez siłę tarcia wyjścia ogniw z zazębienia oraz konieczność stosowania w napędach wyrzutników.

Brak możliwości swobodnego poślizgu ogniw na kole w kierunku obrotu koła jest również przyczyną wymuszania okresowych napięć dynamicznych w łańcuchu. Przy cięgnię biernym napiętym wstępnie lub siłą pociągową drugiego napędu, naciski działające na koło są skupione zasadniczo tylko w dwóch gniazdach: w pierwszym gnieździe w zazębieniu na powierzchni roboczej zęba oraz w gnieździe ostatnim na jego powierzchni nieroboczej. Ogniw łańcucha znajdujące się na kole między tymi dwoma gniazdami są prawie odciążone i często zluźnione. Wyjście ogniw z zazębienia powoduje więc w zakresie obrotu koła o jeden ząb okresowy poślizg zluźnianych na kole ogniw i nagłe odciążenie ostatniego gniazda w zazębieniu.

W rezultacie nadmiernego wzrostu podziałki łańcucha (duże zużycie ogniw na przegubach, trwałe odkształcenie ogniw w wyniku chwilowych przeciążeń napędu) powstają poważne zaburzenia współpracy łańcucha z kołem napędowym. Bezpośrednią konsekwencją tych zaburzeń jest tzw. zjawisko "przeskakiwania" łańcucha w kole. W momencie kiedy punkt styku wchodzącego w zazębienie ogniwa znajdzie się w pobliżu wierzchołka zęba w miejscu, z którego staje się niemożliwy poślizg ogniwa po powierzchni roboczej zęba w kierunku jego stopy, to ogniwa następne będą się układać coraz bliżej wierzchołka aż do wystąpienia poślizgu ogniw na łbach zębów. Poślizg ten (przeskakiwanie) zaczyna się najczęściej, kiedy ostatnie ogniwo poziome,



Rys. 5. Uszkodzone ogniwo w wyniku przeskakiwania łańcucha w kole

będące w przyporze w gnieździe, wyjdzie z ząbienia i trwa do momentu kiedy ogniwa wejdą do napotkanych na drodze poślizgu gniazd obracającego się koła. Przeskakiwanie łańcucha na kole jest przyczyną zginania ogniw czynnych na łbach zębów, powstawania głębokich zadziorów na ogniwach (rys. 5) i wywołania nadwyżek napięć statycznych i dynamicznych w łańcuchu. Uszkodzenia ogniw są przyczyną znacznego obniżenia wytrzymałości statycznej i trwałości zmęczeniowej łańcuchów ogniowych.

4. Możliwości poprawy pracy kół gniazdowych przez zmianę konstrukcji gniazd

Dążąc do wyeliminowania nadmiernego zużywania się stóp zębów i zakleszczania się ogniw w rozszerzonych wrębach kół przeprowadzono badania współpracy i zużycia kół z powiększonymi powierzchniami dna gniazd. W tym celu wydatnie powiększono powierzchnię dna wydłużając dno gniazda o około 20mm tak od strony napędzającej jak i od strony przeciwległej (rys. 6). Badania porównawcze zużycia kół wykazały znacznie mniejsze ubytki na dnie gniazda przy stopie zęba (około 8,5-krotnie mniejsze) oraz zmniejszone o około 17% ubytki na średnicy podziałkowej koła [2]. Analiza przebiegu i stopnia zużycia ogniw wykazała również zmniejszone ubytki na ogniwach. Średni wzrost podziałek ogniw łańcucha współpracującego z kołem o zmiennej konstrukcji był mniejszy o 18%, a ubytki masowe były o około 22% mniejsze od ubytków masowych na ogniwach łańcucha współpracującego z kołami seryjnymi. Zmniejszenie zużycia gniazd kół i ogniw łańcucha uzyskano głównie dzięki zmniejszeniu jednostkowych nacisków między powierzchniami ślizgowymi i wyeliminowaniu zjawiska zakleszczania się ogniw w gniazdach



Rys. 6. Widok gniazda z powiększoną powierzchnią dna

oraz przez ograniczenie drogi poślizgu ogniw po powierzchni roboczej gniazda koła.

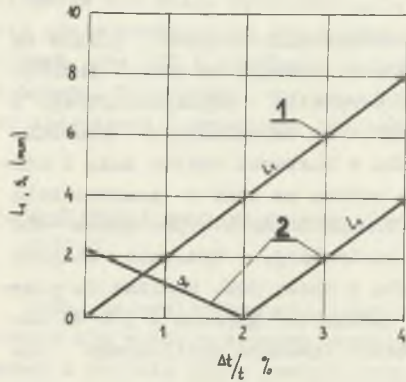
Przy obecnym zarysie gniazd możliwości zwiększenia długości gniazd są ograniczone, gdyż powiększenie długości gniazda pociąga za sobą zmniejszenie grubości zęba. Na przykład dla koła 8-zębnego współpracującego z łańcuchem $\Phi 18 \times 64$ mm minimalna długość gniazda zapewniająca swobodne przemieszczanie się (poślizg) ogniw łańcucha w kierunku obrotu koła i nie dopuszczająca do zetknięcia się ostatniego ogniwa na kole z powierzchnią nieroboczą zęba - powinna wynosić dla $\Delta t/t = 3\%$ i $\Delta b/b = 3\%$ około 126 mm, a więc około 26 mm więcej od długości nominalnej. Wymagana długość gniazda zmniejszyłaby nominalną grubość zęba o około 90%. Możliwe do przyjęcia dla tego koła powiększenie długości nominalnej gniazda o $5 \div 8\%$ może zapewnić swobodny poślizg ogniw w gniazdach łańcucha wydłużonego nie więcej niż o $1 \div 1,2\%$.

5. Możliwości poprawy pracy kół gniazdowych przez optymalny dobór stosunku podziałek łańcucha i koła

Poza aktualnie stosowanym stosunku podziałek łańcucha i koła większym od nominalnego $\frac{t}{T} > a_n$ istnieje możliwość współpracy łańcucha i koła przy stosunku podziałek łańcucha i koła mniejszym od stosunku nominalnego. Przy stosunku podziałek $\frac{t}{T} < a_n$ nabiegające na koło ogniwo układa się w gnieździe koła w określonej odległości od zęba koła (rys. 2b). W miarę obrotu koła ogniwo to przemieszcza się po dnie gniazda w kierunku przeciwnym do kierunku obrotu koła. Przemieszczenia (poślizgi) ogniw w gniazdach rozpoczynają się w momencie wyjścia z zazębienia ogniwa poziomego (czynnego) A i trwają do momentu zetknięcia się z powierzchnią roboczą zęga kolejnego ogniwa poziomego B.

Kompleksowe badania współpracy, przebiegu i charakteru zużycia oraz sprawności zazębienia kół i łańcuchów wykazały [4], że dla danego przedziału wzrostu podziałek łańcucha (przedziału użytkowania łańcucha) najmniejsze straty tarcia na kole, daje tzw. zazębienie mieszane: zazębienie specjalne $\frac{t}{T} < a_n$ w pierwszym przedziale wzrostu podziałek (w pierwszym okresie użytkowania) i zazębienie normalne $\frac{t}{T} > a_n$ w drugim przedziale wzrostu podziałek (w drugim okresie użytkowania).

Znacznie mniejsze straty energetyczne na kołach przystosowanych do pracy w pierwszej fazie przy zazębieniu specjalnym i w fazie drugiej przy zazębieniu normalnym wynikają głównie ze zmniejszonych poślizgów ogniw na tych kołach. Jak to wynika z wykresów poślizgów (rys. 7), średnia wartość dla kół przystosowanych do pracy przy zazębieniu mieszanym $\frac{t}{T} > a_n$ o 2% z całego przedziału pracy jest około 2,6 razy mniejsza od średnich wartości poślizgów ogniw na kołach pracujących przez cały czas przy zazębieniu normalnym. Badania wykazują, że minimalizację strat tarcia na skutek poślizgów ogniw na kole można osiągnąć przy zwiększonym nominalnym stosunku podziałek o około 1,2%.



Rys. 7. Wykresy poślizgów w funkcji wzrostu podziałki łańcucha /z = 9 i łańcucha $\Phi 18 \times 64$ mm/

1. poślizgi ogniw przy zazębieniu normalnym $\frac{t}{T} > a_n$, 2. poślizgi ogniw przy zazębieniu mieszanym $\frac{t}{T} > a_n$ o 2%

Istotną zaletą zazębienia mieszanego jest poprawa współpracy kół i łańcuchów uwydatniająca się szczególnie przy współpracy kół i łańcuchów częściowo zużytych. Na przykład praca koła przystosowanego do pracy przy zazębieniu mieszanym $\frac{t}{T} < a_n$ o około 1,2% / z łańcuchem wydłużonym o 3% odbywa się przy stosunku podziałek $\frac{t}{T}$ nie większym o 1,8% od stosunku nominalnego.

Występujące przy zazębieniu mieszanym korzystne stosunki podziałek ograniczają w dużym stopniu możliwość powstawania przy zazębieniu mieszanym poważnych zaburzeń we współpracy łańcucha z kołem (przeskakiwania łańcucha na kole, wymuszanie napięć statycznych i dynamicznych w łańcuchu).

6. Badania sprawności napędowych kół gniazdowych

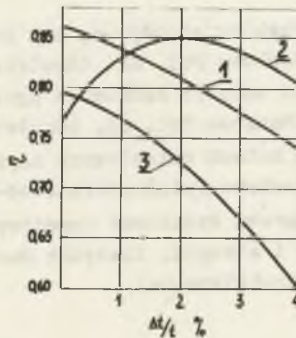
Badanie sprawności zazębienia kół gniazdowych przeprowadzono w warunkach laboratoryjnych na stanowisku badawczym (rys. 1). W celu określenia sprawności koła napędowego mierzono i rejestrowano na taśmie oscylografu pętlicowego wartości napięcia w cięgnię czynnym łańcucha i momentu na wale napędowym przy zluźowanym cięgnię biernym łańcucha. Podstawą do określenia sprawności były wycinki z oscylogramów napięć i momentów dla przedziału czasu odpowiadającemu jednemu obrotowi koła. Pomiar sprawności dla zazębienia normalnego i specjalnego przeprowadzono dla zakresu wzrostu podziałki łańcucha $\frac{\Delta t}{t} = 0 \div 4\%$, w przedziałach co 1%.

Analiza krzywych sprawności dla tarcia suchego, zamieszczonych na rys. 8 wskazuje, że:

1. Największą sprawność $\eta = \sim 0,85$ wykazuje zazębienie zbliżone do nominalnego, to jest przy zazębieniu normalnym dla koła współpracującego z łańcuchem nowym, a przy zazębieniu specjalnym dla koła o $T > T_n$ o około 2%, współpracującego z łańcuchem wydłużonym o około 2%.
2. Koło napędowe pracujące w pierwszej fazie użytkowania przy zazębieniu specjalnym i w fazie drugiej przy zazębieniu normalnym wykazuje w badanym przedziale wzrostu podziałek łańcucha $\frac{\Delta t}{t} = 0 \div 4\%$ średnią sprawność o około 3% większą i sprawność na końcu przedziału o około 9% większą od sprawności koła pracującego przy zazębieniu normalnym w całym

przedziale wydłużeń łańcucha. Jeśli pominię się trwający stosunkowo krótko pierwszy przedział użytkowania łańcucha: $\frac{\Delta t}{t} = 0 \div 1\%$ (docieranie się ogniw), to średnia sprawność dla zazębienia w pozostałych przedziałach użytkowania: $\Delta t/t = 1 \div 4\%$ jest o około 6% większa od sprawności koła pracującego przy zazębieniu normalnym.

- Zużycie kół i łańcuchów znacznie obniża sprawność zazębienia i tak sprawność kół i łańcuchów nowych $\eta = 0,86$ spada do wartości $\eta = 0,60$ przy współpracy kół zużytych / $\Delta b = 8,5 \text{ mm}$ / z łańcuchami wydłużonymi o $\frac{\Delta t}{t} = 4\%$, to jest o około 30%.
- Koła z powiększonymi powierzchniami den gniazd wykazują sprawność większą od kół seryjnych średnio o około 10%.



Rys. 8. Krzywe sprawności napędowych kół gniazdowych. Liczba gniazd koła: $z = 9$. Prędkość łańcucha $v = 0,72 \text{ m/s}$. Średnie napięcie gałęzi roboczej:

$$N_{\text{śr}} = 3,2 \cdot 10^4 \text{ N. Rodzaj tarcia i tarcie suche}$$

- 1 - zazębienie normalne /koło o powiększonej powierzchni den gniazd/, 2 - zazębienie mieszane i koło o $\frac{t}{m} < a_n$ o około 2%, 3 - zazębienie normalne i koło zużyte / $\Delta b_{\text{śr}} = 8,5 \text{ mm}$ /

7. Wnioski

- Zasadniczymi nieprawidłowościami procesu zazębienia aktualnie stosowanych kół gniazd w maszynach górniczych są: stopniowe wgniatanie się ogniw czynnych (poziomych) do wrębów międzyzębnych i ograniczona zdolność ogniw do swobodnego przemieszczania się w gniazdach (poślizgu) w kierunku obrotu koła napędowego. Wyeliminowanie lub ograniczenie tych nieprawidłowości zazębienia uzyskać można przez zwiększenie powierzchni den i długości gniazd kół gniazdowych.
- Zazębienie mieszane (pierwsza faza pracy koła przy zazębieniu specjalnym i druga faza pracy przy zazębieniu normalnym) wykazuje najkorzystniejsze wyniki współpracy dla założonego stopnia zużycia ogniw łańcucha i kół gniazdowych. Mniejsze straty energetyczne na kole przy zaze-

bieniu mieszanym wynikają głównie ze zmniejszonych średnich wartości poślizgów ogniw na kole gniazdowym.

3. Przy stosowanym obecnie zarysie gniazd kół nie wszystkie stwierdzone w badaniach nieprawidłowości procesu zazębienia dadzą się w pełni wyeliminować. W szczególności nie da się w pełni wyeliminować bardzo niekorzystnego dla procesu współpracy zjawiska zakleszczania się ogniw w gniazdach kół. Celowe są badania nad opracowaniem nowych zarysów gniazd eliminujących wady nie dające się usunąć przy zachowaniu dotychczasowego zarysu gniazd.

LITERATURA

- [1] Rynik Jan: Charakter i przebieg współpracy kół gniazdowych i łańcuchów ogniowych. Zeszyty Naukowe Pol. Śl. Górniczo - Zeszyt Nr 68.
- [2] Rynik Jan: Badania procesu zużycia łańcuchów ogniowych i napędowych kół gniazdowych. Zeszyty Naukowe Pol. Śl. Górniczo - Zeszyt Nr 68.
- [3] Rynik Jan: Rozkład sił na kołach gniazdowych napędów łańcuchowych maszyn górniczych. Zeszyty Naukowe Pol. Śl. Górniczo - Praca nieopublikowana.
- [4] Rynik Jan: Badanie nad poprawą trwałości napędowych kół gniazdowych, przenośników zgrzebłowych i strugów. Instytut Mechanizacji Górniczo, marzec 1974 r. (Praca nieopublikowana).

НЕПРАВИЛЬНОСТИ В ПРОЦЕССЕ СОДЕЙСТВИЯ ГНЕЗДОВЫХ КОЛЁС И ЗВЕНЬЕВЫХ ЦЕПЕЙ ЦЕПНЫХ ПРИВОДОВ ГОРНЫХ МАШИН

Р е з ю м е

В работе, на основании опытных, определяются основные неправильности и расстройства, происходящие в процессе содействия гнездовых колёс и звеньевых цепей. Представлены возможности исправления конструкции гнездовых колёс, а также проведены сравнительные исследования исправности колёс, выпускаемых в данный момент и колёс с измененной конструкцией в функции степени износа колёс и звеньевых цепей.

IRREGULARITY IN THE COOPERATION PROCESS OF SOCKET WHEELS AND COIL CHAINS OF MINING MACHINES CHAIN DRIVES

S u m m a r y

In the paper, on the ground of experimental investigations, the fundamental irregularities and disturbances taking place in the cooperation process of socket wheels and coil chains have been determined. The possibilities of improving the construction of socket wheels have been given.

Some comparative investigations of efficiency of wheels actually produced and wheels with a changed construction, taking into account the degree of wear of wheels and coil chains, have been carried out.