

Sylwester Markusik  
Andrzej Wilk

## SPRZĘGLA ODSRODKOWE ŚRUTOWE W NAPĘDACH MASZYN TRANSPORTOWYCH

**Streszczenie.** Dobór sprzęgła do napędu maszyn roboczych charakteryzujących się dużym momentem bezwładności, zredukowanym na wał silnika (rzędu  $5 \cdot 10^4 \div 10^5 \text{ kgm}^2$ ) stwarzał konstruktorom poważne problemy, ze względu na nieuniknione prądy rozruchowe, jakie występowały w przypadku zastosowania sprzęgieł elastycznych.

Problemy rozruchu mas o dużych bezwładnościach rozwiązano dzięki zastosowaniu w napędach odśrodkowych sprzęgieł śrutowych. Badania prowadzone w Instytucie Mechanizacji Górniczo Politechniki Śląskiej pozwoliły określić charakterystyki mechaniczne i cieplne typowego szeregu sprzęgieł śrutowych produkowanych obecnie w kraju. W artykule przedstawiono charakterystyki mechaniczne produkowanych sprzęgieł śrutowych oraz nakreślono perspektywy ich zastosowania w innych typach maszyn roboczych, a zwłaszcza w transporcie ciągłym.

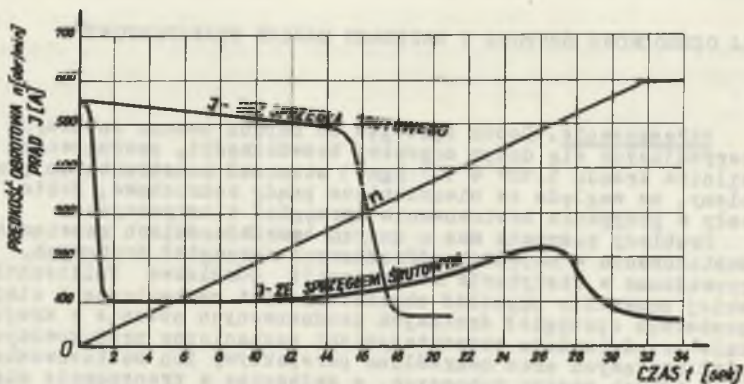
### Wstęp

Napęd maszyn i urządzeń o dużych momentach bezwładności np. długich przenośników taśmowych, maszyn trakcyjnych, dużych wentylatorów itd. sprawia wiele problemów związanych z właściwym doбором silnika oraz pozostałych zespołów napędu. Dla ułatwienia rozruchu tego typu maszyn stosuje się różnego rodzaju sprzęgła rozruchowe jak: sprzęgła hydrauliczne lub śrutowe. W napędach, w których zredukowany na wał silnika moment bezwładności dochodzi do  $10^5 \text{ kgm}^2$ , znajdują zastosowanie przede wszystkim sprzęgła odśrodkowe śrutowe. Sprzęgła te zapewniają łagodny rozruch maszyny roboczej. Po ukończeniu rozruchu całkowity moment obrotowy przenoszony jest w sprzęgle bez poślizgu, przy czym silnik napędowy osiąga obroty nominalne bardzo prędko prawie na biegu luzem. Unika się w ten sposób "uderzenia prądowego", które przy napędach z silnikami klatkowymi (duże moce) byłoby nieuniknione.

### Zastosowanie sprzęgieł śrutowych i perspektywy jego rozszerzenia

W napędach dużych mocy, w których stosuje się w zasadzie tylko silniki klatkowe, jednym z najważniejszych problemów staje się rozruch. W przypadku napędów niskich mocy stosuje się silniki pierścieniowe, których rozruch odbywa się za pomocą szeregu włączanych kolejno w obwód wirnika, co powo-

duże zmniejszenie prądu rozruchu. W napędach z silnikami klatkowymi stosuje się z reguły sprzęgła rozruchowe, łagodzące "uderzenie prądowe", które jest nieuniknione w przypadku zastosowania w napędzie zwykłych sprzęgieł podatnych (rys. 1).



Rys. 1. Napęd młyna wentylatorowego ze sprzęgłem śrutowym oraz bez sprzęgła śrutowego

Jako sprzęgła rozruchowe stosowane są powszechnie sprzęgła hydrauliczne bądź sprzęgła śrutowe. Zadanie tych sprzęgieł polega na umożliwieniu osiągnięcia przez silnik napędowy prędkości obrotowej znamionowej na biegu luzem i zapewnieniu łagodnego rozruchu maszyny roboczej. Porównując własności różnego rodzaju sprzęgieł rozruchowych okazało się, że najbardziej odpowiednie do rozruchu dużych mas są sprzęgła odśrodkowe śrutowe (L.1 i L.2).

Większość maszyn roboczych posiada napędy redukujące prędkość obrotową silnika, z tych względów zredukowane momenty bezwładności na wał sprzęgła są stosunkowo małe i mieszczą się w granicach stosowalności sprzęgieł hydraulicznych lub sprzęgieł śrutowych z czynną obudową (typu Centri). Istnieje jednak szereg maszyn roboczych, w których zastosowanie przekładni redukujących jest niemożliwe, ze względów czysto funkcjonalnych (np. wentylatory kopalniane, młyny kulowe i wentylatorowe, napędy trakcyjne). W tych maszynach zredukowane momenty bezwładności na wał sprzęgła dochodzą do  $10^5 \text{ kgm}^2$ . W praktyce więc w tych napędach znalazły zastosowanie jedynie sprzęgła rozruchowe śrutowe z czynnym wirnikiem (rys. 2). Prawidłowe zastosowanie sprzęgła śrutowego w napędzie wiąże się ściśle ze znajomością jego charakterystyki, pozwalające na dobór sprzęgła pod względem mechanicznym i cieplnym. Niewielkie dotychczas zastosowanie sprzęgieł śrutowych jest spowodowane tym, że sprzęgła te w kraju nie były dotychczas produkowane oraz nieznanymi charakterystykami tych sprzęgieł.

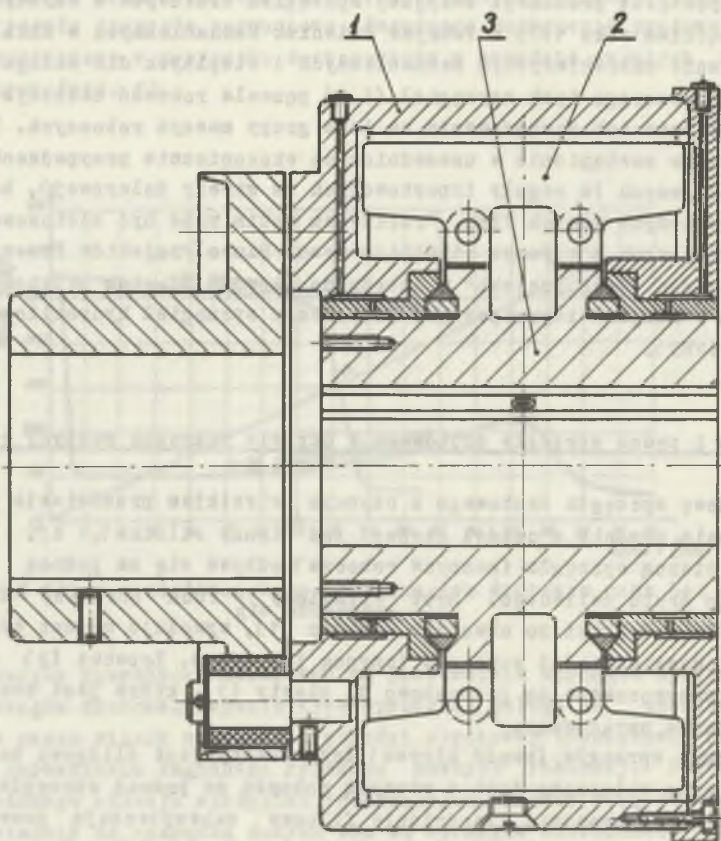
Rozpoczęcie produkcji seryjnej sprzęgieł śrutowych z ozynnym wirnikiem z początkiem roku 1973 w Fabryce Palenisk Mechanicznych w Mikołowie oraz określenie charakterystyk mechanicznych i cieplnych dla całego produkowanego typoszeregu tych sprzęgieł (L.3) pozwala rokować nadzieje na rychłe rozszerzenie ich zastosowania na inne grupy maszyn roboczych. Pozwoli to również na zastąpienie w uzasadnionych ekonomicznie przypadkach sprzęgieł hydraulicznych (z reguły importowanych ze strefy dolarowej), bądź sprzęgieł śrutowych innych firm. Przykładem takim może być zastosowanie sprzęgieł śrutowych z ozynnym wirnikiem przez Biuro Projektów Przemysłu Koksochemicznego "Koksoprojekt" w Zabrze do napędów długich przenośników taśmowych w miejsce importowanych dotychczas sprzęgieł hydraulicznych firmy Voith (NRF).

#### Budowa i praca sprzęgła śrutowego w okresie rozruchu maszyny roboczej

Budowę sprzęgła śrutowego z ozynnym wirnikiem przedstawia rys. 2. Przeniesienie momentu z części czynnej (od strony silnika), tj. łopatek na część bierną sprzęgła (maszyna robocza) odbywa się za pomocą drobnoziarnistego śrutu żeliwnego. Śrut wprawiony w ruch obrotowy i rozrzucony przez dwie łopatki po obwodzie korpusu (1), wywołuje moment tarcia, sprzęgając obydwie części sprzęgła (czynną i bierną). Łopatki (2) rozrzucają śrut, przymocowane są przegubowo do piasty (3), która jest osadzona na wale silnika napędowego.

Korpus sprzęgła (część bierna) łożyskowany jest ślizgowo na piaście łopatek oraz połączony jest z maszyną roboczą za pomocą sprzęgła pałkowego z wkładkami gumowymi. Pierścienie filcowe zabezpieczają panewki łożysk ślizgowych przed możliwością przedostania się do nich pyłu oraz sproszkowanego śrutu. Wewnętrzna powierzchnia korpusu sprzęgła posiada nacięte rowki wzdłuż tworzącej korpusu, w celu zwiększenia zastępczego współczynnika tarcia między śrutem a korpusem.

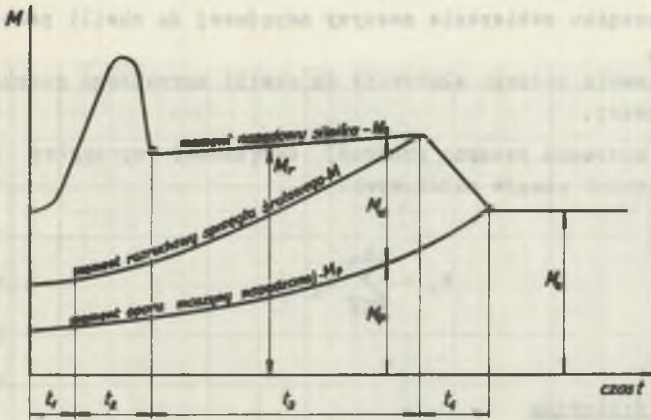
Pożądane jest, aby granulacja śrutu była możliwie stała, nawet po częściowych rozruchach. Podczas rozruchu maszyny roboczej przy pomocy sprzęgła śrutowego wywiązują się znaczne ilości ciepła, pochodzące od strat energii wynikłych z różnicy prędkości obrotowych silnika i rozpędzanej maszyny roboczej. Do współpracy ze sprzęgłami śrutowymi dobiera się z reguły silniki (klatkowe) o małym momencie rozruchowym (małe prądy rozruchu), ale o krótkim czasie rozruchu, który wynika z faktu, że silnik rozpędza się prawie bez obciążenia. W takim przypadku ilość wydzielonego ciepła w uzwojeniach wirnika jest znikoma. Cała energia poślizgu (straty) zamienia się na ciepło w samym sprzęgle. Konstrukcja sprzęgła śrutowego pozwala na rozruch silnika praktycznie na biegu luzem, zaś pełne obciążenie silnika następuje dopiero po osiągnięciu obrotów znamionowych. "Uderzenie prądowe" przy uruchomieniu silnika klatkowego połączonego z maszyną roboczą



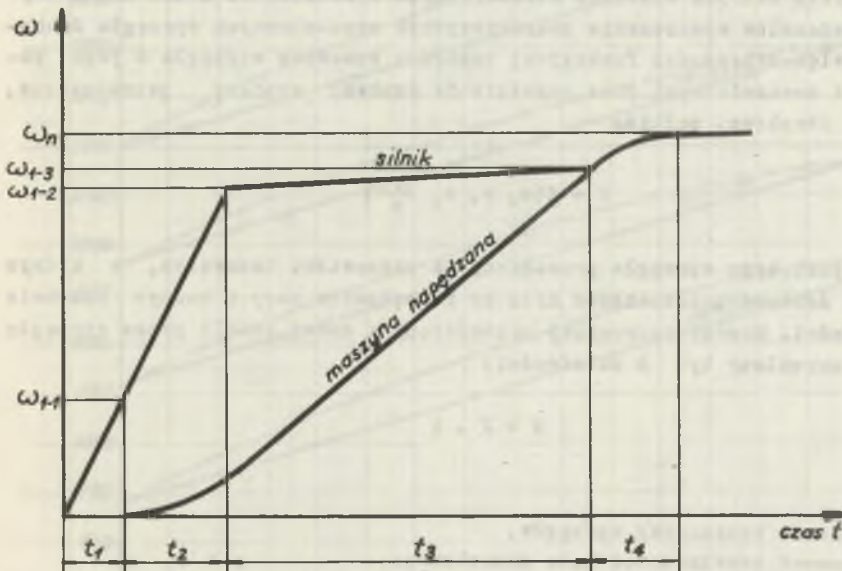
Rys. 2. Sprzęgło śrutowe z ozynnym wirnikiem produkowane w kraju  
1 - korpus, 2 - łopatki, 3 - piasta

sprzęgłem śrutowym występuje nadal, ponieważ zależne jest ono od konstrukcji silnika. Jest ono niezależne od tego, czy silnik w momencie rozruchu znajduje się pod obciążeniem, czy jest hamowany, czy wreszcie rozruch następuje bez obciążenia (rys. 1). Długotrwały prąd rozruchu zależy od obciążenia, z jakim trwa rozruch. Przy projektowaniu napędów ze sprzęgłem śrutowym można dobrać taki silnik, który posiada mały moment rozruchowy, co wiąże się z małym prądem rozruchu i korzystnymi warunkami jego eksploatacji (małe nagrzewanie). Rozruch maszyny roboczej za pomocą sprzęgła śrutowego, narastanie w czasie rozruchu maszyny roboczej momentów obrotowych oraz prędkości obrotowej przedstawiają rys. 3 i 4. Całkowity czas rozruchu można podzielić na kilka okresów:

$t_1$  - czas od chwili uruchomienia silnika do początku rozrucania śrutu w sprzęgle,



Rys. 3. Narastanie momentu obrotowego sprzęgła w czasie rozruchu



Rys. 4. Narastanie prędkości obrotowej sprzęgła w czasie rozruchu

- $t_2$  - czas od początku rozrzucania śrutu do chwili rozpoczęcia pokonywania momentu oporu maszyny roboczej,  
 $t_3$  - czas od początku zabierania maszyny napędowej do chwili pełnego jej włączenia,  
 $t_4$  - czas od momentu pełnego włączenia do chwili normalnego rozruchu maszyny roboczej.

Całkowity czas rozruchu maszyny roboczej napędzanej sprzęgłem śrutowym jest sumą wszystkich czasów składowych:

$$t_r = \sum_{i=1}^4 t_i$$

### Dobór sprzęgła śrutowego

W Instytucie Mechanizacji Górnictwa Politechniki Śląskiej przeprowadzono badania prototypu sprzęgła odśrodkowego śrutowego nr PX 001 ASo wykonanego przez Fabrykę Palenisk Mechanicznych w Mikołowie. Celem badań było doświadczalne wyznaczenie charakterystyk mechanicznych sprzęgła śrutowego, a więc zależności funkcyjnej pomiędzy momentem sprzęgła a jego parametrami mechanicznymi jak: napełnienie śrutem, wymiary geometryczne, prędkość obrotowa, poślizg

$$M = f(m, r, n, \frac{\Delta n}{n})$$

Badania prototypu sprzęgła prowadzono na stanowisku badawczym, w którym sprzęgło śrutowe przeznaczone było do rozpędzania masy o znanym momencie bezwładności. Moment rozruchowy przenoszony w danej chwili przez sprzęgło śrutowe określany był z zależności:

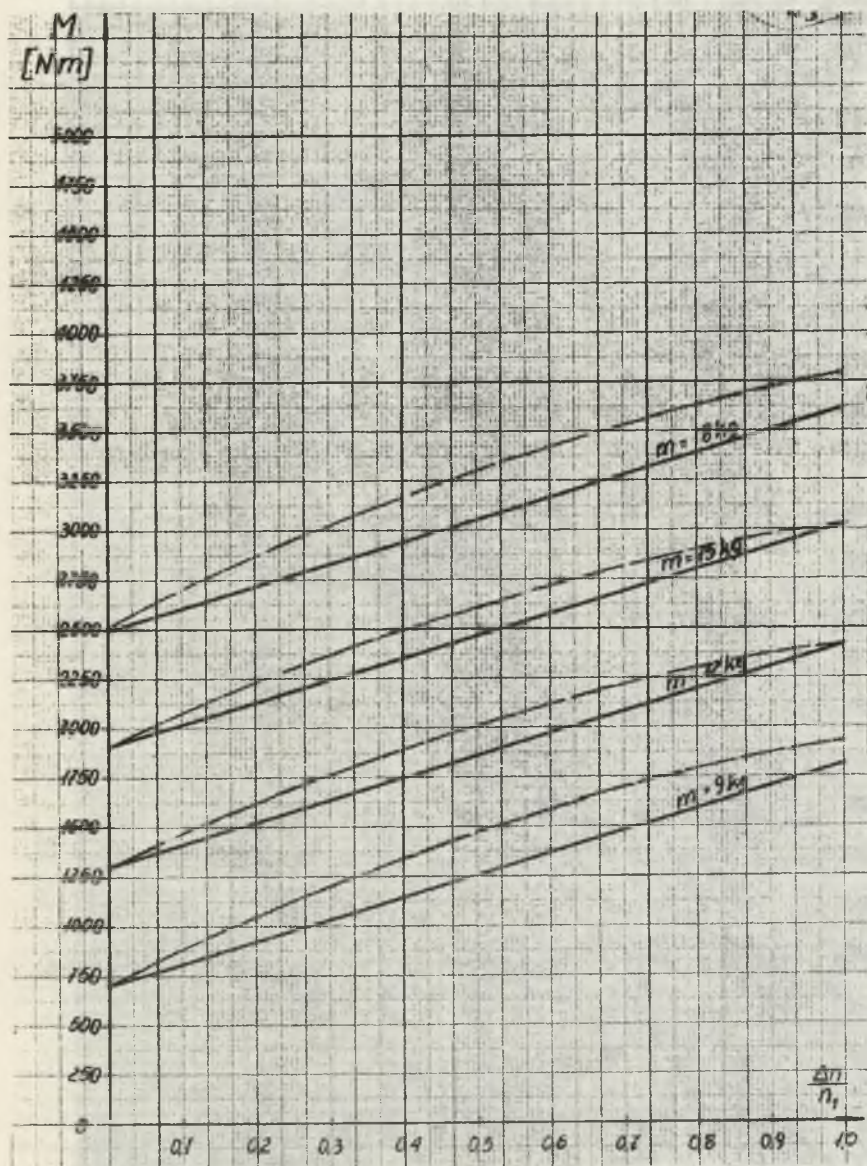
$$M = J \cdot \varepsilon$$

gdzie:

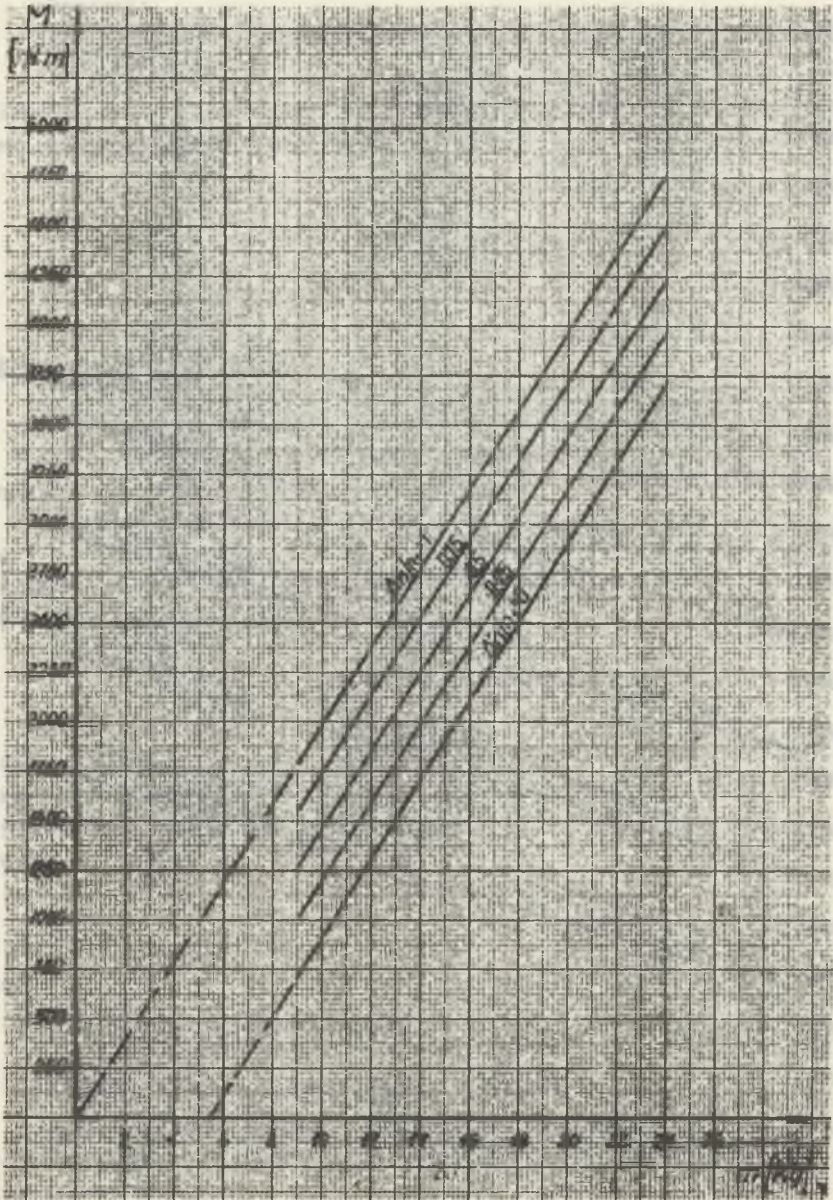
- M - moment rozruchowy sprzęgła,
- J - moment bezwładności koła zamachowego,
- $\varepsilon$  - przyspieszenie kątowe koła zamachowego.

Zależność momentu sprzęgła śrutowego PX 001 ASo od poślizgu  $\frac{\Delta n}{n}$  przy prędkości obrotowej silnika napędowego  $n = 975$  obr/min dla różnych napełnień przedstawia rys. 5.

Punkty skrajne na wykresie wyznaczają moment sprzęgła w ruchu ustalonym ( $\frac{\Delta n}{n} = 0$  - brak poślizgu) oraz moment poślizgowy ( $\frac{\Delta n}{n} = 1$  pełny po-

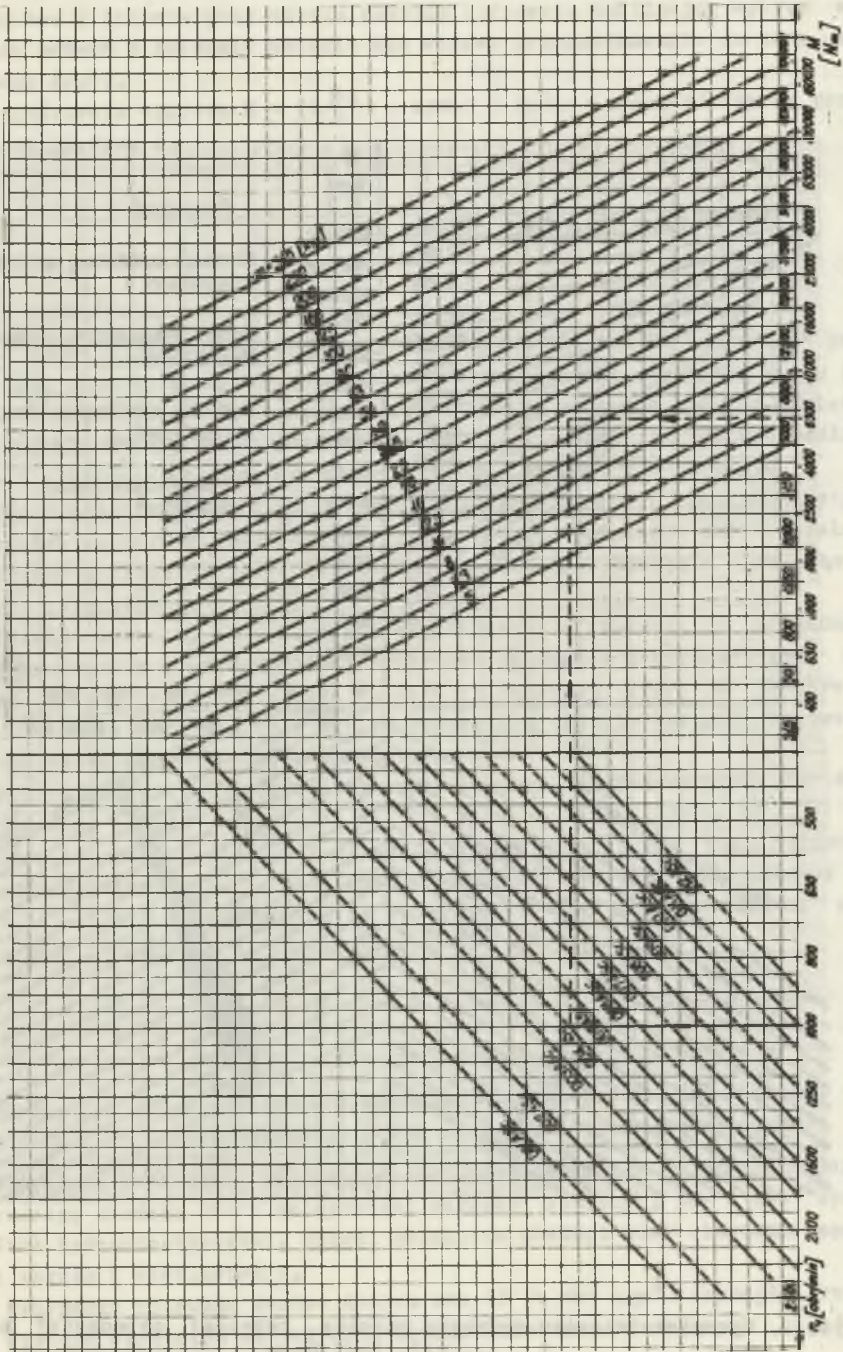


Rys. 5. Przebieg momentu w sprzęgle śrutowym w zależności od poślizgu dla sprzęgła PX 001 ASc

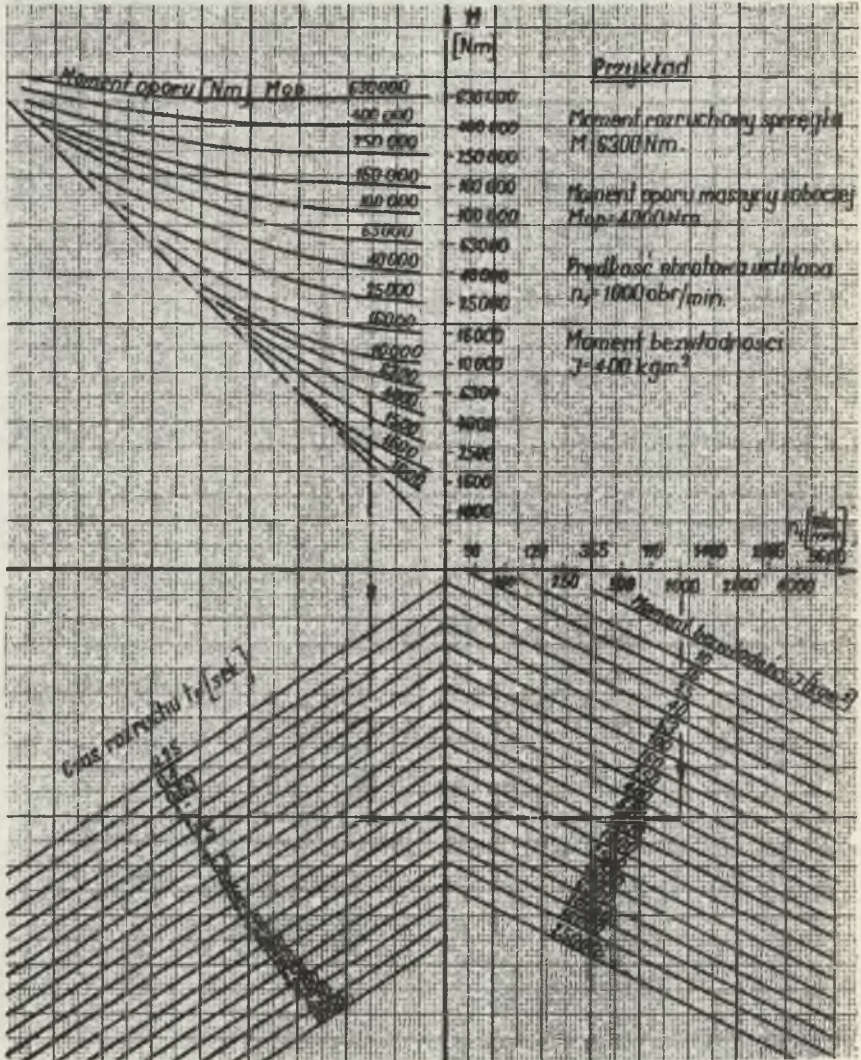


rys. 6. Przebieg momentu w sprzęgle śrutowym w zależności od masy śrutu i poślizgu dla sprzęgła PX 001 ASo





Rys. 7. Charakterystyki mechaniczne sprężęł śrutowych



Rys. 8. Wyznaczenie czasu rozruchu maszyny roboczej napędzanej poprzez sprzęgło śrutowe

ślizg). Linie przerywane otrzymano przez przybliżenie wyników pomiarów do wielomianu 2 stopnia przy użyciu maszyny cyfrowej. Analizując wykres widać, że moment w sprzęgle zmienia się wprost proporcjonalnie do masy zasypanego śrutu.

Na podstawie wykresu  $M = f\left(\frac{\Delta n}{n}\right)$  - rys.5 - można opracować wykres przedstawiony na rys. 6

$$M = f(m)$$

gdzie:

$m$  - masa śrutu.

Jak widać w przypadku braku poślizgu ( $\frac{\Delta n}{n} = 0$ ), moment w sprzęgle przenosi masa pomniejszoną o "masę martwą", która stanowi warstewkę śrutu pomiędzy kadłubem a górną krawędzią łopatkki. Masa martwa w badanym prototypie wynosiła  $m_0 = 5,5$  kg. Natomiast w przypadku istnienia pełnego poślizgu cała masa śrutu bierze udział w wytwarzaniu momentu w sprzęgle.

Teoria podobieństwa mechanicznego pozwala określić charakterystyki wszystkich sprzęgieł tego samego typoszeregu, na podstawie doświadczalnie wyznaczonych charakterystyk mechanicznych prototypu sprzęgła należącego do tego typoszeregu.

Wielkość momentu, jaki może przenieść sprzęgło śrutowe, w zależności od jego wymiarów geometrycznych, ustalonej prędkości obrotowej, masy zasypanego śrutu przedstawia rys. 7. Jest to nomogram, który w praktyczny sposób umożliwia sprawdzenie doboru sprzęgła i określa wartość momentu, jaki sprzęgło przenosi podczas rozruchu.

Do określenia czasu rozruchu maszyny roboczej za pomocą sprzęgła śrutowego służy wykres - rys. 8.

W tym celu należy najpierw określić moment rozruchowy, jaki przenosi sprzęgło śrutowe (rys. 7) oraz ustalić wielkość momentu oporu maszyny roboczej i wartość zredukowanego na wał sprzęgła momentu bezwładności mas, które będą rozpędzane do prędkości ustalonej.

## Wnioski

Biorąc pod uwagę poruszone w artykule zagadnienia rozruchu dużych mas przy pomocy sprzęgieł śrutowych można wysunąć następujące wnioski:

- w napędach transportu ciągłego dużych mocy, sprzęgła śrutowe posiadają przewagę zarówno nad elektrycznymi układami rozruchu, jak i nad sprzęgłami hydrokinetycznymi, dzięki prostocie obsługi oraz niższemu kosztowi zakupu i eksploatacji,
- w przypadku rozruchu bardzo dużych mas ( $J > 10^5 \text{ kgm}^2$ ) sprzęgła śrutowe z czynnym wirnikiem są jedynymi urządzeniami umożliwiającymi właściwy rozruch maszyny napędzanej,

- badania sprzęgieł śrutowych z czynnym wirnikiem prowadzone w IMP Politechniki Śląskiej wykazały, że podczas rozruchu masa śrutu przenosząca moment obrotowy jest zmienna, a jej wielkość zależy od poślizgu w sprzęgle. Na początku rozruchu ( $\frac{\Delta n}{n_1} = 1$ ) cała masa śrutu bierze udział w przenoszeniu momentu, natomiast po jego ukończeniu część masy śrutu tworzy "masę martwą", która nie uczestniczy czynnie w przenoszeniu momentu obrotowego.

#### LITERATURA

- [1] Wilke R.: Flühkraftkupplungen für den Grubenbetrieb. Gleckauf nr 5-6/1953 r.
- [2] Markusik S.: Sprzęgła ośrodkowe śrutowe w napędach urządzeń transportowych. Przegląd Mechaniczny nr 19/1969 r.
- [3] Markusik S.: Wyznaczenie charakterystyk odśrodkowych sprzęgieł śrutowych. Praca doktorska. Instytut Mechanizacji Górnicstwa Pol. Śląskiej, Gliwice 1973 r.
- [4] Sanda J.: Anlauf - Pulver - Kupplung. Maschinenvelt Heft 5-7/1965 r.

#### ЦЕНТРОБЕЖНЫЕ МУФТЫ В ПРИВОДАХ ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН

#### Резюме

Подбор муфты для привода рабочих машин с большим инерционным моментом приведенным к валу двигателя (порядка  $5 \cdot 10^4 - 10^5 \text{ кгм}^2$ ) для конструкторов серьезная проблема ввиду неизбежных пусковых токов, появляющихся в случае применения эластичных муфт.

Проблема пуска больших инерционных масс ремена благодаря применения в приводах центробежных муфт.

Исследования, проведенные в Институте механизации горного дела Силезского политехнического института, позволили определить тепловые и механические характеристики, выпускаемых в настоящее время в стране центробежных муфт.

В статье представлены механические характеристики, выпускаемых центробежных муфт с указанием возможностей их применения в других типах рабочих машин, а особенно в непрерывном транспорте.

CENTRIFUGAL SHOT CLUTCHES IN THE POWER TRANSMISSION OF TRANSPORTING MACHINES

Summary

Designers used to have considerable difficulties with the choice of clutches for the transmission of machines with a great momentum of inertia reduced onto the shaft of the engine (within the range of  $5 \times 10^4$  to  $10^5 \text{ kgm}^2$ ). This was due to the inevitable starting currents occurring in the case when elastic clutches are employed. The problems of the starting of masses with a great inertia have been solved thanks to the application of centrifugal shot clutches. Investigations which were carried out at the Institute of Mining Engineering, Silesian Technical University, have made it possible to determine the mechanical and thermal characteristics of a number of shot clutches that are at present produced in this country. The paper discusses the mechanical characteristics of the available shot clutches and forecasts the perspectives of their application in other types of machines, particularly for the purpose of continuous transport.