ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1975

Seria: Górnictwo z. 62 Nr kol. 407

Kazimierz Furmanik

Zakład Maszyn i Urządzeń
Transportu Kopalnianego
Instytutu Maszyn Górniczych,
Przeróbczych i Automatyki
Akademii Górniczo-Hutniczej
im. St. Staszica w Krakowie

BADANIA WSTĘPNE SIŁ TARCIA TOCZNEGO

KOMUNIKAT

Streszczenie. W pracy przedstawiono stanowisko do badania sił tarcia tocznego, opisano sposób przeprowadzenia pomiarów oraz podano wyniki wstępnych badań dla pary materiałowej L45G2-St3. Wskazano na duży wpływ stanu powierzchni współpracujących oraz nacisków stykowych na siły tarcia tocznego.

1. Wstęp

W wielu przypadkach współpracy elementów maszyn i urządzeń (np. ciągników, urządzeń transportu szynowego) elementy toczne jak koła, krążki, walce itp. oprócz obciążeń normalnych muszą przenosić także obciążenia styczne bez znacznego poślizgu, który zmienia geometrię i charakter współpracy tych elementów. Wymaga to bliższego rozeznania zjawisk tarcia tocznego i określenia dopuszczalnych obciążeń stycznych tych elementów dla określonych ich obciążeń normalnych i warunków pracy. Tarcie toczenia w porównaniu z tarciem ślizgowym wykazują pewne cechy szczególne, które czynią go zjawiskiem bardziej złożonym.

Wskutek odkształceń toczących się ciał w obszarze styku toczeniu towarzyszą poślizgi określonego charakteru w poszczególnych strefach powierzchni nominalnej styku. Wskutek chropowatości obu współpracujących powierzchni zjawiska warunkujące tarcie toczenia przebiegają nie na całej powierzchni nominalnej styku, lecz na wielu jej rzeczywistych elementarnych powierzchniach, których ilość zależy między innymi od wartości sił normalnych, sił stycznych oraz względnego poślizgu obu tych powierzchni w chwili nawiązania styku toczenia.

Należy przy tym odróżnić przebieg współpracy obu ciał w stanie nowym i w stanie, jaki wytwarza się po poddaniu koła i szyny wielokrotnemu działaniu wywieranego na siebie nacisku. Wynika to przede wszystkim na skutek utwardzenia się w procesie toczenia materiału koła i szyny.

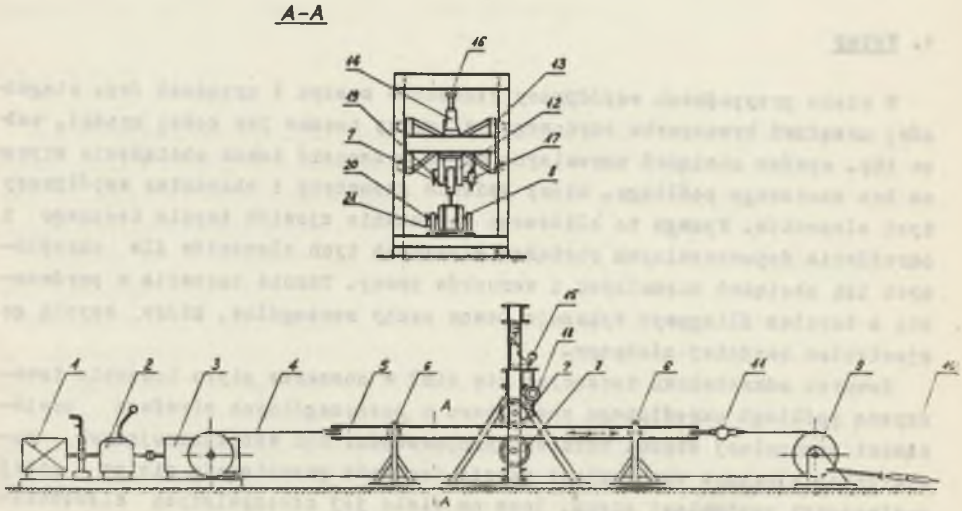
W Instytucie Maszyn Górniczych, Przeróbczych i Automatyki AGH podjęto badania sił tarcia tocznego i poniżej przedstawiono wyniki badań wstępnych przy uwzględnieniu wpływu obciążeń normalnych, wilgotności i zanieczyszczenia powierzchni współpracujących oraz prędkości toczenia. Dalsze badania pozwolą na uściślenie wpływu wspomnianych czynników, uchwycenie wpływu innych oraz na bliższe poznanie mechanizmu tarcia tocznego.

2. Sposób i zakres przeprowadzenia badań

Wstępnie założono:

1) odwracalność współpracy ciernej koła z szyną, tzn. identyczność zjawisk tarcia tocznego przy rozruchu i hamowaniu koła;
2) pomijalny wpływ oporów ułożyskowania koła i oporów powietrza.

W praktycznym rozwiązaniu konstrukcyjnym stanowiska badawczego uwzględniono przypadek hamowania koła, jako mniej korzystny dla współpracy z szyną przy wystąpieniu dużych poślizgów (płaskie stopki). Badania przeprowadzono na stanowisku, które przedstawiono na rys. 1.

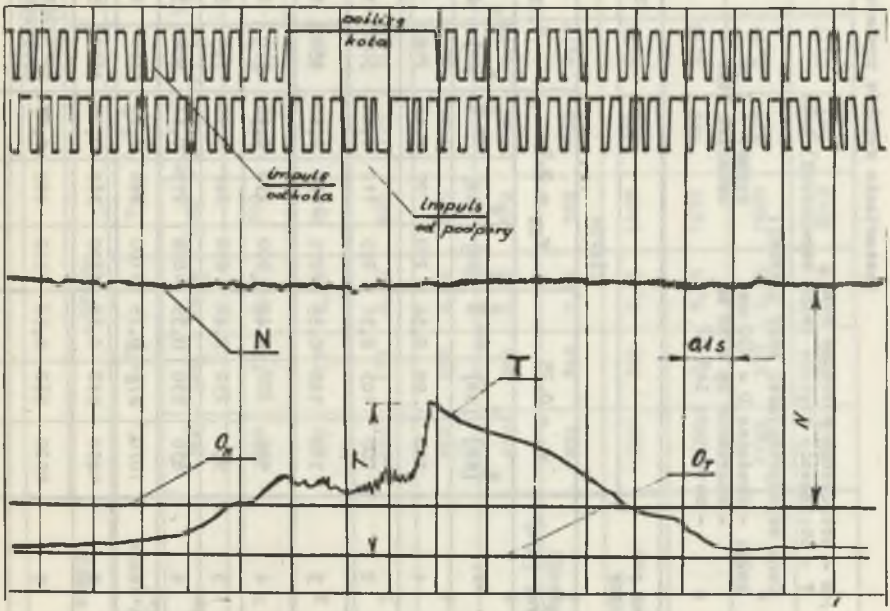


Rys. 1. Schemat stanowiska pomiarowego

Napęd z silnika "1" przez skrzynkę biegów "2", reduktor "3" oraz linę "4" przekazywany jest na szynę "5", która prowadzona jest między krążkami podpór "6" oraz kołem "7" i bębnem podporowym "8". Krążek zwrotny "9" oraz śrubowe urządzenie napinające "10" umożliwiają wstępne napięcie liny, które mierzone jest dynamometrem "11".Szyna o długości 8,5 m i prze-

kroju I 50 wykonuje ruch wahadłowy o skoku równym 7,5 m, przy czym pomiar odbywa się tylko przy jednym kierunku ruchu. Koło cierne "7" zamocowane jest w obrotowych widłach "12" przesuwnej ramy "13" obciążonej z pomocą podnośnika hydraulicznego "14", który zaopatrzony jest w dwa dynamometry: wskazówkowy "15" i tensometryczny "16" pozwalające na mierzenie sił docisku "N" koła.

Obciążenie styczne "T" koła ciernego realizowane jest z pomocą hamulca tarczowego "17" i mierzone jest dynamometrem tensometrycznym "18". Pomiar prędkości koła i szyny metodą impulsową umożliwiają tarczki "19" i "20" (z metalowymi ząbkami na obwodzie) zabudowane na końcówce wału koła hamowanego i osi bębna podporowego "8". Palec stycznika "21" przylegającego do obwodu tarczki "20" połączony jest ze źródłem prądu stałego i w czasie ruchu tarczki znajduje się kolejno nad wrębem i zębem tarczki przerywając i zamykając na przemian obwód elektryczny. Podczas toczenia koła bez poślizgu długości odcinków odpowiadających jednemu obrotowi koła i bębna podporowego będą jednakowe, a w chwili wystąpienia poślizgu długości tych odcinków będą różne. Przez porównanie ich z zapisem znacznika czasu można określić prędkości obwodowe koła i szyny, a także prędkość ich wzajemnego poślizgu.



Rys. 2

Tablica 1

Zestawienie wyników pomiarowych współpracy koła z szyną

N - obciążenie normalne koła
T - obciążenie styczne (siła sczepności) koła

Dane współpracującej pary ciernej:

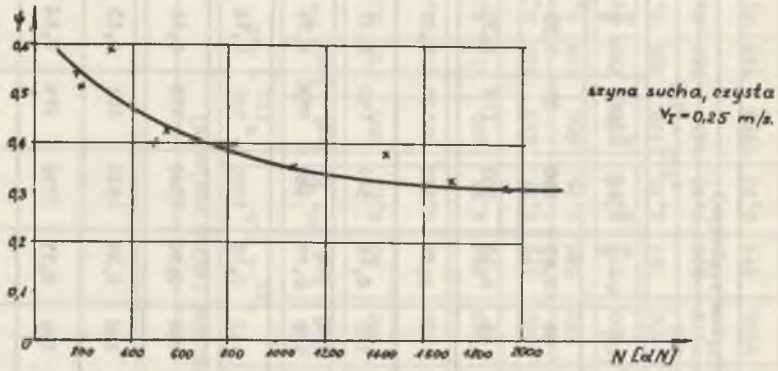
koło: - średnica D = 200 mm
- szerokość lp = 50 mm
- materiał: L45 G2

szyna: - I 50
materiał St3.

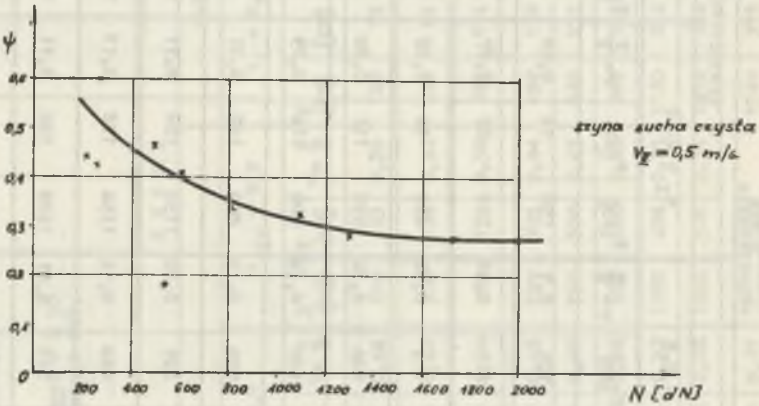
Stan pow. szyny	SUCHA																	
	CZYSTA									ZANIECZYSZCZONA (pyłem węglowym)								
prędkość szyny [m/s]	$v_I = 0,25$			$v_{II} = 0,5$			$v_{III} = 0,9$			$v_I = 0,25$			$v_{II} = 0,5$			$v_{III} = 0,9$		
Lp.	N [dN]	T [dN]	$\varphi = \frac{T}{N}$	N [dN]	T [dN]	$\varphi = \frac{T}{N}$	N [dN]	T [dN]	$\varphi = \frac{T}{N}$	N [dN]	T [dN]	$\varphi = \frac{T}{N}$	N [dN]	T [dN]	$\varphi = \frac{T}{N}$	N [dN]	T [dN]	$\varphi = \frac{T}{N}$
1	180	98	0,54	220	97	0,44	210	83	0,39	180	75	0,41	200	90	0,45	200	120	0,60
2	200	103	0,51	265	112	0,42	300	128	0,42	250	83	0,33	400	128	0,32	300	135	0,45
3	320	188	0,59	275	165	0,60	450	135	0,30	285	116	0,40	450	150	0,33	400	112	0,28
4	500	202	0,40	500	232	0,46	510	225	0,44	490	120	0,24	500	135	0,27	510	180	0,35
5	550	232	0,42	610	247	0,40	760	330	0,43	540	135	0,16	700	180	0,25	600	188	0,31
6	830	330	0,39	820	278	0,34	950	360	0,38	840	150	0,17	900	270	0,30	850	210	0,24
7	1070	375	0,35	1100	360	0,32	1350	406	0,29	1120	210	0,18	1250	292	0,23	1120	285	0,25
8	1450	552	0,38	1300	368	0,28	1650	520	0,31	1470	262	0,17	1320	300	0,22	1430	330	0,23
9	1720	562	0,32	1740	480	0,27	ograniczenie obciążenia -			1740	375	0,21	1700	375	0,22	1550	345	0,22
10	1950	600	0,30	2000	553	0,27	mocą silnika			2050	375	0,18	1980	420	0,21	1780	405	0,22

Tablica 2

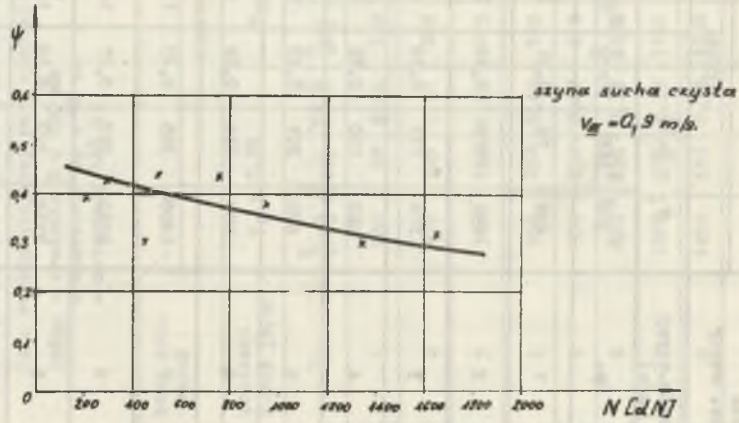
Stan pow. szyny	ŻELKRA														
	CZYSTA						ZANIECZYSZCZONA (pyłem węglowym)								
prędk. szyny [m/s]	$v_I = 0,25$			$v_{III} = 0,9$			$v_I = 0,25$			$v_{II} = 0,5$			$v_{III} = 0,9$		
Lp.	T [dN]	T [dN]	$\psi = \frac{T}{N}$	N [dN]	T [dN]	$\psi = \frac{T}{N}$	N [dN]	T [dN]	$\psi = \frac{T}{N}$	N [dN]	T [dN]	$\psi = \frac{T}{N}$	N [dN]	T [dN]	$\psi = \frac{T}{N}$
1	200	75	0,37	210	105	0,5	150	72	0,48	200	90	0,45	250	83	0,33
2	255	78	0,30	290	111	0,38	300	83	0,27	325	98	0,30	300	112	0,37
3	370	111	0,30	400	114	0,28	430	90	0,20	500	112	0,22	470	120	0,25
4	560	150	0,26	495	120	0,24	550	111	0,20	540	103	0,19	540	150	0,27
5	620	203	0,32	570	128	0,22	600	114	0,19	680	120	0,17	680	173	0,25
6	975	240	0,24	950	188	0,19	800	142	0,17	950	142	0,15	1100	180	0,16
7	1200	285	0,23	1100	225	0,20	1130	150	0,11	1460	150	0,10	1340	188	0,14
8	1350	292	0,21	1430	240	0,16	1350	172	0,12	1550	180	0,11	1520	203	0,13
9	1760	322	0,18	1600	345	0,21	1620	188	0,11	1750	195	0,11	1750	210	0,12
10	2050	368	0,18	2040	345	0,17	1900	225	0,11	1940	217	0,11	2120	240	0,11



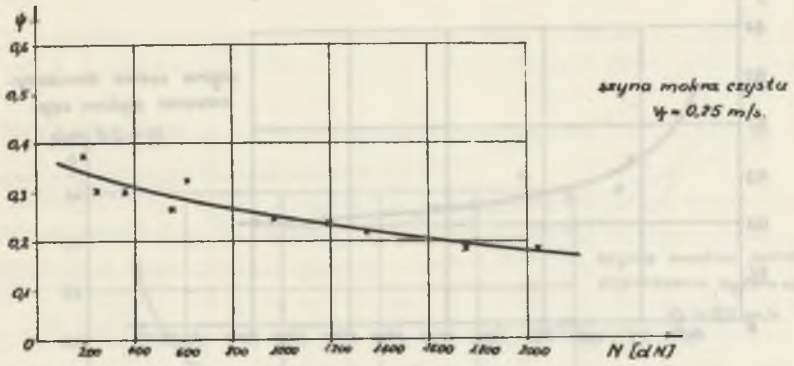
Rys. 3



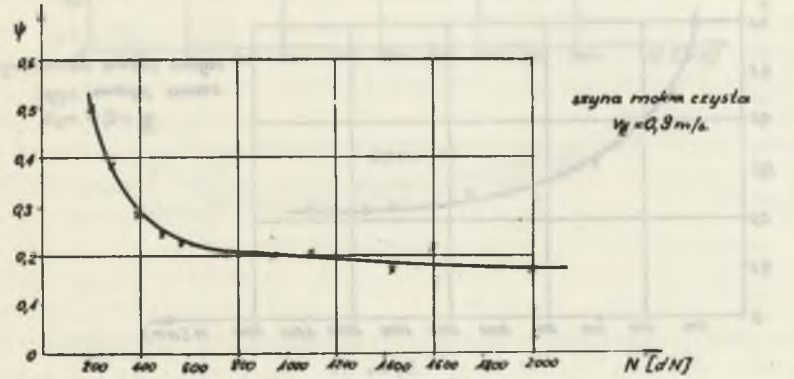
Rys. 4



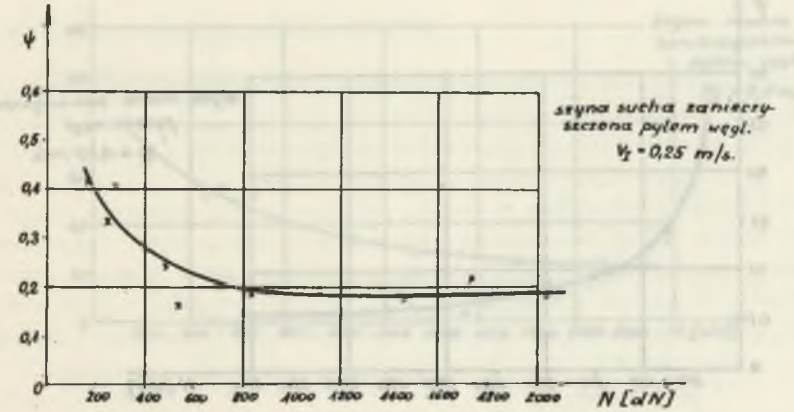
Rys. 5



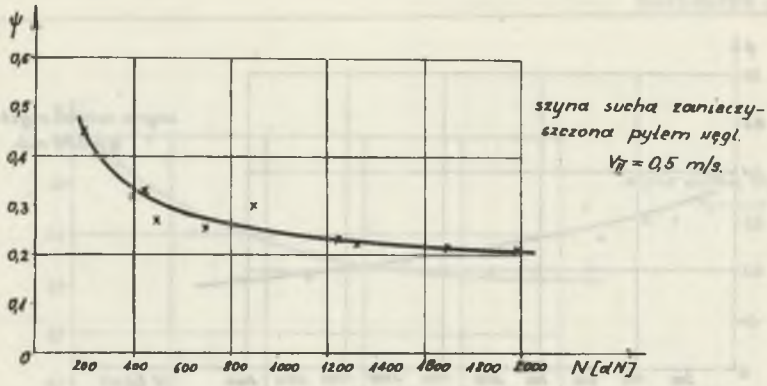
Rys. 6



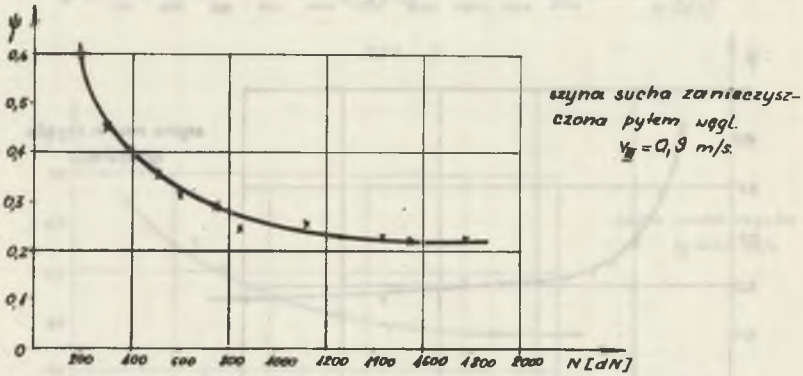
Rys. 7



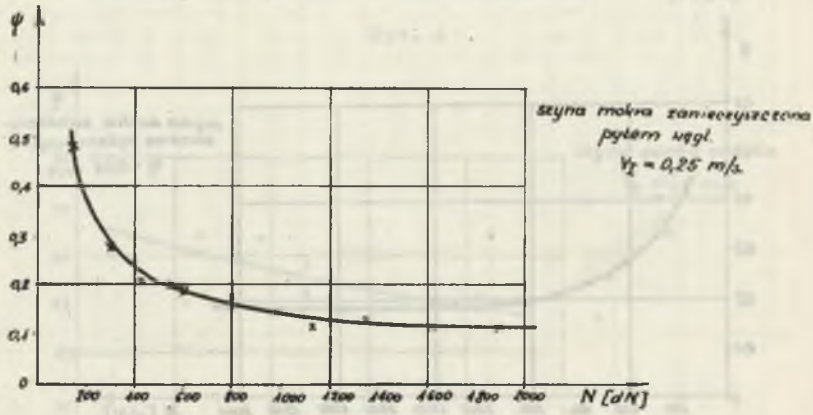
Rys. 8



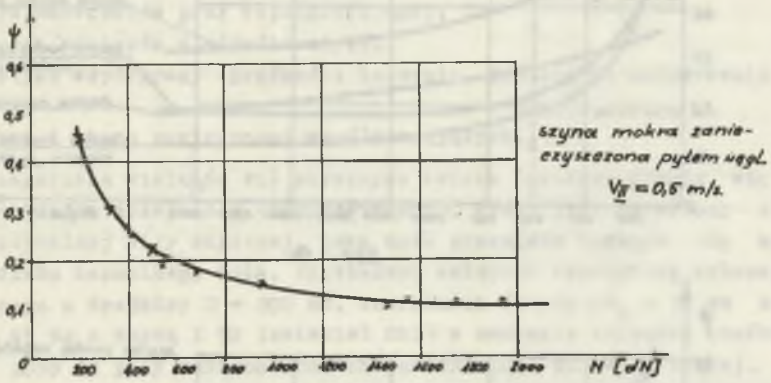
Rys. 9



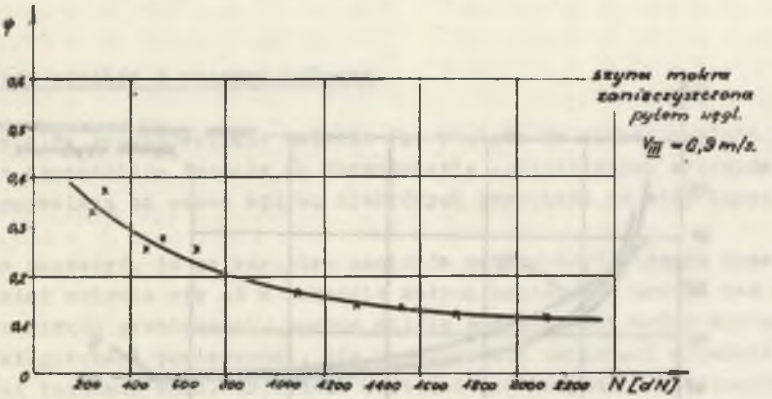
Rys. 10



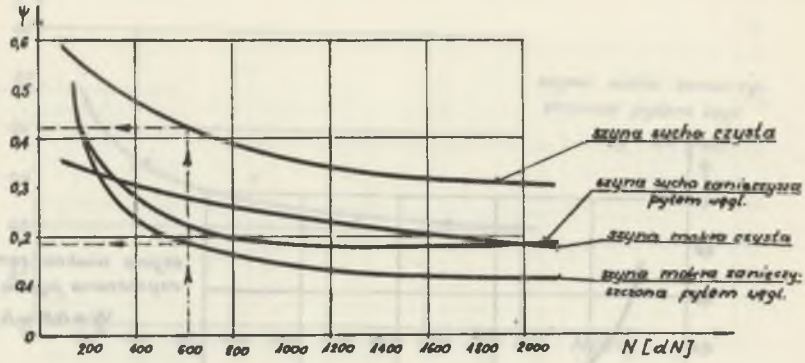
Rys. 11


ψ
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
1600
1800
2000
N [dN]
szyna mokra zanieczyszczona pyłem węgl.
V_{II} = 0,5 m/s.

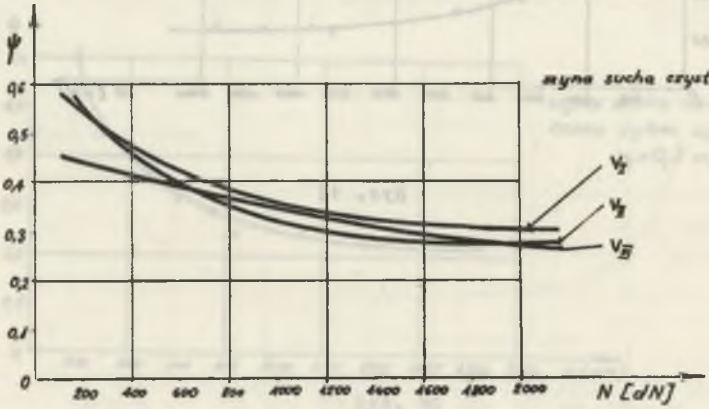
Rys. 12


ψ
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
1600
1800
2000
2200
N [dN]
szyna mokra zanieczyszczona pyłem węgl.
V_{III} = 0,9 m/s.

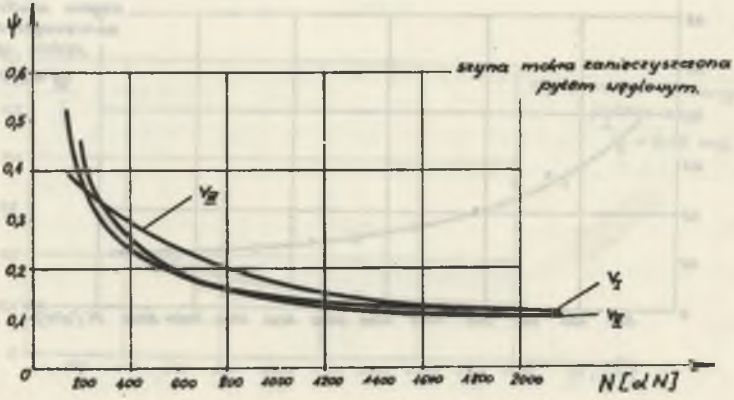
Rys. 13



Rys. 14



Rys. 15



Rys. 16

Stanowisko umożliwia nadania rzeczywiste i modelowe (przy zachowaniu warunków podobieństwa mechanicznego) współpracy koła z szyną przy uwzględnieniu:

- rodzaju materiałów przy współpracującej,
- wielkości nacisków w strefie styku,
- kinematyki współpracy (prędkości toczenia, poślizgów, zukosowania koła),
- kontaktu i stanu powierzchni współpracujących.

W literaturze wielkość sił stycznych tarcia tocznego ujmuje się tzw. współczynnikiem sczepności (przyczepności), który jest określony stosunkiem maksymalnej siły stycznej, jaką może przenieść toczące się koło do siły nacisku normalnego koła. Przebadano wstępnie współpracę walcowego koła ciernego o średnicy D = 200 mm, szerokości (styku) l_p = 50 mm z materiału L 45 G2 z szyną I 50 (materiał St3) w zakresie obciążeń normalnych koła do 2000 dN przy różnych stanach powierzchni: suchej i mokrej, czystej i zanieczyszczonej (pyłem węglowym) przy prędkościach szyny: 0,25; 0,50; i 0,9 m/s. Wartość sił docisku "N" i tarcia "T" rejestrowano na taśmie światłoczułej przy pomocy oscylografu pętlicowego. Wartość współczynnika sczepności "ψ" obliczano dzieląc wartość siły stycznej "T" przez wartość siły obciążenia normalnego koła "N" w chwili tuż przed poślizgiem koła.

Na rys. 2 przedstawiono fragment zapisu na taśmie oscylografu. Wyniki pomiarów zestawiono w tablicach 1 i 2. Wykresy zależności współczynnika sczepności "ψ" od obciążenia normalnego koła "N" przy różnych stanach powierzchni współpracujących i różnych prędkościach toczenia koła przedstawiono na rys. 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 i 16.

3. Analiza wyników i wnioski końcowe

Jakkolwiek przeprowadzone badania (ze względu na zakres i ilość pomiarów) nie upoważniają jeszcze do formułowania ogólniejszych wniosków, to jednak pozwalają na ocenę wpływu niektórych czynników na siły tarcia tocznego.

Można zauważyć, że ze wzrostem nacisków maleje współczynnik sczepności. Najszybciej zmienia się on w zakresie małych nacisków - ustala zaś w zakresie nacisków granicznych. Bardzo silnie zaznacza się wpływ zanieczyszczeń i wilgotności powierzchni, nie zaznacza się natomiast wyraźnie wpływ prędkości toczenia koła. Najwyższe wartości współczynnika sczepności uzyskuje się przy powierzchni suchej czystej, a najniższe - przy wilgotnej zanieczyszczonej.

Okazuje się, że nawet w strefie tak dużych nacisków stykowych wpływ zanieczyszczeń jest zasadniczy. Interesujące jest także, że współczynnik sczepności uzyskuje wartości wyższe od współczynnika tarcia poślizgowego.

Na podstawie uzyskanych wyników badań dla pary ciernej L 45 G2 - St3 można sformułować następujące wnioski końcowe:

1) największy wpływ na wartość współczynnika sczepności ma zanieczyszczenie powierzchni, następnie jej wilgotność i obciążenie normalne koła,
2) prędkość toczenia nie wpływa zasadniczo na współczynnik sczepności,
3) współczynnik sczepności uzyskuje wartości wyższe od współczynnika tarcia,
4) najniższe wartości współczynnik sczepności uzyskuje w zakresie obciążeń dopuszczalnych przy powierzchni mokrej zanieczyszczonej ($\Psi \simeq 0,1$),
5) przy małych naciskach i powierzchni suchej czystej współczynnik sczepności może osiągać wartości około 0,5.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СИЛ ТРЕНИЯ ВТОРОГО РОДА

Р е з ю м е

В работе представлен стенд для исследования сил трения второго рода, описан способ проведения измерений, а также представлены результаты предварительных исследований для материальной пары L45G2-St3. Показано большое влияние состояния взаимодействующих поверхностей, а также контактных давлений на силы трения второго рода.

PRELIMINARY INVESTIGATIONS CONCERNING THE FORCES OF ROLLING FRICTION

S u m m a r y

The paper describes a test stand used in investigations of the forces of rolling friction, as well as the way of taking measurements. It also supplies preliminary results of investigations carried out on a set of materials L45G2-St3. It has been pointed out that the condition of the interacting surfaces and contact pressures influence the forces of rolling friction to a great extent.