

Wpływ sposobu obciążenia złącza ciernego na charakterystykę jego pracy

Influence of the loading method of friction joint on the working characteristics

W artykule przedstawione zostały wyniki badań stanowiskowych złączy ciernych poddanych statycznemu i dynamicznemu osiowemu ściskaniu. Badania statyczne polegały na obciążeniu złącza ciernego siłą będącą wynikiem przemieszczania się ze stałą prędkością tłoka maszyny wytrzymałościowej. Skutkiem tego obciążenia było wystąpienie w złączu przerywanego ruchu zsuwającego się kształtownika oraz zmiany wartości siły przenoszonej przez złącze, co stanowi przykład dynamicznej odpowiedzi złącza obciążonego statycznie. W przypadku obciążenia dynamicznego jego źródłem była masa uderowa swobodnie spadająca z określonej wysokości na spoczywającą na złączu ciernym trawersę. W wyniku tego dochodziło w złączu do dynamicznej zmiany wartości przenoszonej siły oraz do wystąpienia dynamicznych zsuwów. W tym przypadku skutkiem dynamicznego wymuszenia działającego na złączu ciernym była jego dynamiczna odpowiedź. Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że sposób obciążenia złącza ciernego ma bardzo istotny wpływ na charakterystykę jego pracy.

The article presents the results of stand tests conducted on friction joints, subjected to static and dynamic axial compression. Static tests consisted of loading of the friction joint with a force resulting of displacement with a constant velocity of tensile machine piston. Result of this loading was occurrence of intermittent motion of the yield motion of the section in a joint and change of the value of force which was transmitted by the joint. This effects are the dynamic response of the joint which was statically loaded. In the case when the joint was dynamically loaded, source of force was impact mass freely falling from the determined height on a cross-bar laying on the friction joint. As a result of this test there was dynamic change of the value of transmitted forces and dynamic yield. In this case, effects of dynamic forcing on the friction joint was its dynamic response. Based on the performed tests it can be concluded, that the loading methods of friction joint, have significant influence on the characteristics of its work.

1. WSTĘP

Górnicza korytarzowa obudowa podatna w trakcie pracy na skutek deformacyjnego oddziaływania górotworu narażona jest na działanie obciążenia statycznego i dynamicznego. Charakterystyczną cechą tej

1. INTRODUCTION

Mining corridor yielding support during the work is exposed on the impact of deformable rock mass is endangered on static and dynamic loading. Characteristic for this type of support is possibility of automa-

obudowy jest możliwość samoczynnej zmiany jej gabarytów pod wpływem zewnętrznego obciążenia. Dochodzi wtedy do przemieszczania się współpracujących kształtowników, co prowadzi do przejścia obudowy w nowy stan równowagi, który umożliwia dalszą ochronę zabezpieczonego wyrobiska.

Częścią obudowy, która umożliwia przemieszczanie się (zsuwanie) jej elementów, są złącza cierne. Parametrami charakteryzującymi pracę złącza cierne jest jego nośność i podatność. Parametry te wyznacza się na podstawie analizy zmian wartości siły przenoszonej przez złącze w funkcji czasu lub w funkcji przemieszczania zsuwającego się kształtownika (w funkcji zsuwu).

Charakterystyki pracy najczęściej wyznacza się na podstawie badań stanowiskowych złączy ciernych obciążonych statycznie lub dynamicznie [2, 3]. Można je również wyznaczyć na podstawie analiz teoretycznych [1, 4], jednak i w tych przypadkach konieczne jest przeprowadzenie badań stanowiskowych w celu odpowiedniej kalibracji modeli teoretycznych.

W niniejszym artykule zostały przedstawione wyniki badań złączy ciernych obciążonych statycznie i dynamicznie, których celem było ustalenie wpływu sposobu obciążenia na charakterystykę ich pracy.

W przypadku obciążenia statycznego charakterystyki pracy złączy ciernych zostały wyznaczone jako zależności wartości siły przenoszonej przez złącze w funkcji przemieszczania zsuwającego się kształtownika dla różnych wartości wstępnych sił osiowych w śrubach strzemion. Na tej podstawie wyznaczono maksymalne wartości sił, jakie przenosiły złącza cierne dla różnych sumarycznych wartości wstępnych sił osiowych w śrubach strzemion. Wyniki tych badań zostały uzupełnione analizą ruchu przerywanego, z jakim mamy do czynienia przy statycznym obciążeniu złącza cierne.

W przypadku obciążenia dynamicznego złącza, którego źródłem był udar masy swobodnie spadającej z określonej wysokości, charakterystyki pracy zostały wyznaczone jako zależności wartości siły przenoszonej przez złącze w funkcji czasu działania obciążenia. Badania przeprowadzono dla różnych wysokości, z jakich spadała masa uderzeniowa oraz dla różnych wartości wstępnych sił osiowych w śrubach strzemion.

Umożliwiło to wyznaczenie zależności określających wpływ wartości siły, z jaką dociskane były współpracujące kształtowniki oraz wysokości, z jakiej spadała masa uderzeniowa, na maksymalną wartość siły przenoszonej przez złącze cierne. Przedstawiono także przykładową charakterystykę impulsu dynamicznego, w trakcie którego zarejestrowano maksymalną siłę przenoszoną przez złącze cierne.

tic change overall dimension under influence outside load. This is result of moving cooperating section, this leads to a switch to a new equilibrium, which allows the continued protection excavation.

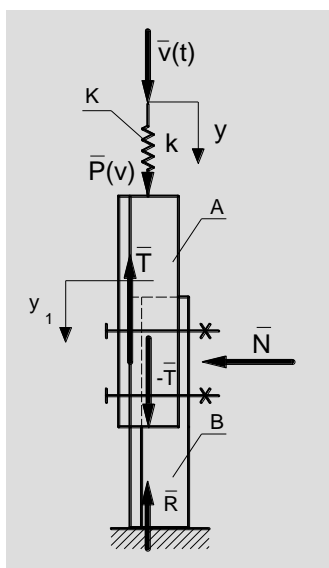
The parts of the support, which allow movement (yield) of its elements are friction joints. Characteristic parameters which describe work of the friction joint are load capacity and flexibility. These parameters are determined using analysis of the value change of the force transmitted by the friction joint as a function of time or as a function of slide down displacement of the section (as an yield function).

Characteristic of work is determined based on the stand tests of friction joint loaded statically or dynamically [2, 3]. It can be done also based on theoretical data [1, 4], but is necessary to conduct stand tests for an appropriate calibration of theoretical models.

In this paper there was presented result of the tests of friction joint loaded statically or dynamically, for determination of an influence of loading on characteristic of its work.

In the case when friction joint was loaded statically, characteristic of its work was designated as dependences of value of strength carrying by joint as an yield function for different values of input axial forces in bolts in stirrup. On this basis there was determined maximum value of forces which was transmitted by friction joint for different total input values of axial forces in bolts in stirrup. Results of the tests was supplemented by analysis of intermittent motion with which we have when friction joint is loaded statically.

In the case when the friction joint was loaded dynamically, when the source of force was drill mass freely falling from determinate heights, characteristic of work was designated as dependence value of strength carrying by joint in the function of time when the load was acting. Test was conducted for different heights from which the impact mass dropped down and for different initial axial forces in the bolts in stirrup. This enabled the determination of dependences which define influence of the values of force with which cooperating sections were pressed against and the height from which the impact mass was falling down on maximum value of force which can be carry by friction joint. Also presented an example of the dynamic characteristics of the dynamic pulse, during the test was recorded the maximum force which was transferred by friction joint.



Rys. 1. Schemat obciążenia złącza ciernego w czasie badań statycznych
 Fig. 1. Scheme of loading of friction joint during the static tests

Wykorzystanie w czasie badań dynamicznych kamery szybkoobrazkowej umożliwiło wyznaczenie przebiegów zmian przemieszczenia zsuwającego się kształtownika. Na tej podstawie wyznaczono zależności wielkości zsuwu w złączu ciernym od energii uderu.

Badania zostały przeprowadzone z wykorzystaniem aparatury pomiarowo-rejestrującej firmy Hottinger Baldwin Messtechnik (HBM) o częstotliwości próbkowania 9600 Hz oraz kamery szybkoobrazkowej firmy Phantom o częstotliwości 100 000 klatek na sekundę.

2. WYZNACZANIE CHARAKTERYSTYKI PRACY ZŁĄCZA CIERNEGO OBCIĄŻONEGO STATYCZNIE

Charakterystykę pracy złącza ciernego pod obciążeniem statycznym wyznacza się na podstawie badań stanowiskowych zgodnie z Polską Normą [5]. W czasie tych badań złącze poddane jest osiowemu ścisaniu siłą, która działa na jeden z kształtowników, a będącą wynikiem przemieszczania się ze stałą prędkością tłoka maszyny wytrzymałościowej.

Na rysunku 1 przedstawiono schemat obciążenia złącza ciernego w czasie badań statycznych.

Zgodnie z tym schematem na górny kształtownik (A) złącza ciernego działa siła $P(v)$ będąca wynikiem nacisku sprężyny K o stałej sztywności k . Sprężyna ta w tym przypadku jest odpowiednikiem oleju ścisane w cylindrze maszyny wytrzymałościowej, której tłok przemieszcza się ze stałą prędkością $v(t)$.

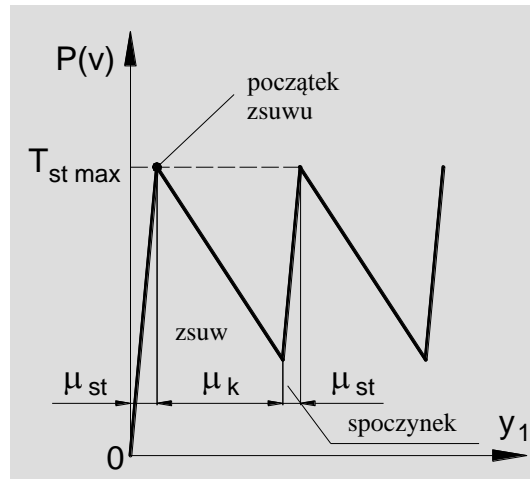
Use of high-speed dynamic cameras enabled to determination of the course of displacement changes of yield of section. On this basis, there was determined dependences on the size of the yield in the friction joint from the impact energy.

The tests were conducted using a measuring-registering apparatus Hottinger Baldwin Messtechnik (HBM) with a sampling frequency 9600 Hz, and the high-speed dynamic camera Phantom with frequency of 100 000 frames per second.

2. DETERMINATION OF FRICTION JOINT WORKING CHARACTERISTIC LOADED STATICALLY

Working characteristic of friction joint loaded statically is determined basing on the stand tests which are compatible with Polish Standard [5]. During the tests joint is pressed by the axial force which acts on the one section. Source of the force is tensile machine piston moving with constant velocity. On the Figure 1 there is presented scheme of loading of friction joint during the static tests.

According to this scheme on the upper section (A) of friction joints is acting force $P(v)$ which is a result of the pressure K of spring with stiffness constant k . In this case spring is equivalent of an oil which is compressed inside the tensile machine piston. Piston is moving with constant velocity $v(t)$. This causes



Rys. 2. Zmiana wartości siły działającej na złącze cierne w czasie jego statycznego obciążenia
Fig. 2. Change the value of forces acting on the friction joint during the static load

Powoduje to ścisnienie sprężyny i wzrost wartości siły $P(v)$ działającej na kształtownik A. Warunkiem wystąpienia zsuwu w złączu jest przekroczenie przez siłę $P(v)$ wartości maksymalnej siły tarcia statycznego ($T_{st\ max}$) między współpracującymi kształtownikami (A i B). W tym momencie dochodzi do zerwania połączenia między tymi kształtownikami i do przemieszczenia się (y_1) kształtownika A. Wywołuje to zmniejszenie wartości siły tarcia między kształtownikami na skutek zmiany współczynnika tarcia ze statycznego (μ_{st}) w kinetyczny (μ_k). Jednocześnie na skutek zsuwu następuje rozciąganie sprężyny i zmniejszenie wartości siły $P(v)$, z jaką ona działa na złącze. Charakterystykę zmiany wartości siły $P(v)$ w zależności od współczynnika tarcia przedstawiono na rysunku 2.

Wartość siły $P(v)$ działającej na złącze cierne można obliczyć z następującej zależności:

$$P(v) = k(y - y_1) = k(vt - y_1) \quad (1)$$

gdzie: t – czas obciążenia.

Przyjmując, że masa przemieszczającego się w czasie zsuwu kształtownika A wynosi m oraz że nie występuje w nim dyssypacja energii związana z tłumieniem i odkształceniem sprężystym, uproszczone równanie jego ruchu ma następującą postać:

$$m \cdot \frac{d^2 y_1}{dt^2} + T = k(vt - y_1) \quad (2)$$

gdzie: T – siła tarcia między stykającymi się kształtownikami.

Z analizy równania (2) wynika, że bardzo istotny wpływ na wartość siły przenoszonej przez złącze cierne oraz na wielkość zsuwu w złączu ma wartość siły tarcia między stykającymi się kształtownikami.

the compression of a spring and the increase of the force $P(v)$ acting on the section A. Condition for the occurrence of the yield in friction joint is exceeding by a force $P(v)$ the maximum value of the static friction force ($T_{st\ max}$) between cooperating sections (A and B). There comes to the breaking of connection between this sections and to the displacement (y_1) of the section A. This causes a reduction of the friction force between sections by the change in the friction coefficient from a static (μ_{st}) to kinetic one (μ_k). At the same time due to the yield stretching of the spring occurs and decrease of the value of force $P(v)$ acting on the joint. The characteristic changes in the force $P(v)$ depending (Fig. 2).

The value of force $P(v)$ acting on the friction joint can be calculated from the following relationship:

$$P(v) = k(y - y_1) = k(vt - y_1) \quad (1)$$

where: t – time of loading.

Assuming that the mass of the moving section A during the yield equals m and does not occur any dissipation of energy connected with a damping and an elastic strain, simplified equation of its movement have a following form:

$$m \cdot \frac{d^2 y_1}{dt^2} + T = k(vt - y_1) \quad (2)$$

where: T – friction force between contacting sections.

From the analysis of the equation (2) results, that friction force between contacting sections has very significant impact to the value of the force transmitted by friction joint and the size of the yield in the joint.

Wartość tej siły zależna jest od wartości siły (N), z jaką dociskane są współpracujące kształtowniki oraz od wartości współczynników tarcia statycznego (μ_{st}) i kinetycznego (μ_k) między ich stykającymi się powierzchniami. W praktyce wartości tych współczynników przyjmuje się jako stałe.

Korzystając z modelu tarcia Coulomba można przyjąć, że wartość siły tarcia zmieniać się będzie w zależności od prędkości przemieszczającego się górnego kształtownika A (zakładając, że kształtownik dolny B nie przemieszcza się).

W czasie obciążania złącza ciernego wartość siły tarcia statycznego T_{st} jest zmienna i zależy od wartości siły $P(v)$. Rośnie ona wraz ze wzrostem siły $P(v)$ do momentu, w którym wartość siły $P(v)$ osiągnie maksymalną wartość siły tarcia statycznego ($T_{st\ max}$). Dalszy wzrost siły $P(v)$ wywołuje zsuw i zmianę współczynnika tarcia ze statycznego na kinetyczny.

Można założyć, że do momentu, w którym siła zewnętrzna jest mniejsza bądź równa maksymalnej sile tarcia statycznego, w złączu ciernym nie występuje zsuw. Przyjmując, że maksymalna wartość siły tarcia statycznego wynosi:

$$T_{st\ max} = N \cdot \mu_{st} \quad (3)$$

a wartość siły tarcia kinetycznego wynosi :

$$T_k = N \cdot \mu_k \quad (4)$$

równanie opisujące zmianę wartości siły tarcia w złączu ciernym można zapisać w postaci:

$$T = \begin{cases} T_{st\ max} & \text{dla } v = 0 \text{ i } T_{st\ max} \leq P(v) \\ P(v) & \text{dla } v = 0 \text{ i } T_{st\ max} > P \\ T_k & \text{dla } v \neq 0 \end{cases} \quad (5)$$

gdzie: v – prędkość zsuwającego się kształtownika.

Przyjęty schemat obciążenia oraz przedstawiony opis procesów kinetycznych zachodzących w złączu ciernym w czasie jego statycznego osiowego ściskania umożliwi wyznaczenie charakterystyki pracy złącza i odpowiednią jej interpretację.

Mając na uwadze powyższe analizy oraz zgodnie ze schematem przedstawionym na rysunku 1 przeprowadzono badania stanowiskowe złączy ciernych wykonanych z kształtownika V29 z dwoma strzemionami SDO 29. Badaniom poddano złącza o różnych wartościach wstępnych sił osiowych w śrubach strzemion. Suma wartości wstępnych sił osiowych w śrubach strzemion jest równa wartości siły N , z jaką dociskane są współpracujące kształtowniki.

The value of this force depends on the force (N), which cooperating sections are pressed and the static (μ_{st}) and kinetic (μ_k) friction coefficients between the contacting surfaces. In practice, the values of these coefficients are taken as constant.

Using the Coulomb friction model it can be assumed that the friction force will change depending on the velocity of moving upper section A (assuming that the lower section B does not move).

During the loading of friction joint, value of static friction force (T_{st}) varies and depends on the force $P(v)$. It increases with the increase of the force $P(v)$ to the point where the force $P(v)$ reaches its maximum value of the static friction force ($T_{st\ max}$). Further increase of the force $P(v)$ causes yield, and the change from static friction to kinetic.

It can be assumed, that the point at which external force is less than or equal to the maximum force of static friction, in the joint there is no yield. Assuming that the maximum value of the static friction force equals:

$$T_{st\ max} = N \cdot \mu_{st} \quad (3)$$

and the value of kinetic friction force equals:

$$T_k = N \cdot \mu_k \quad (4)$$

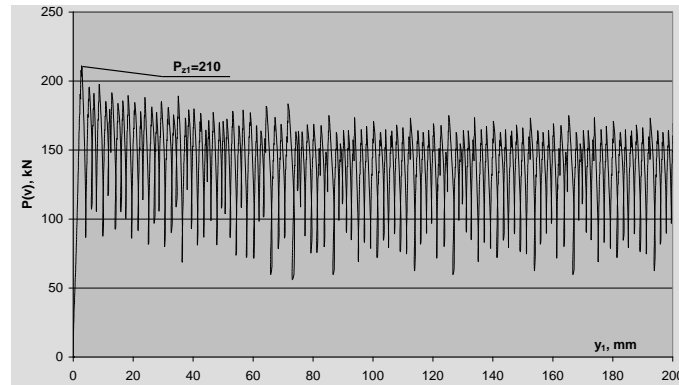
equation describing the change of the value of friction force in friction joint can be written as:

$$T = \begin{cases} T_{st\ max} & \text{dla } v = 0 \text{ i } T_{st\ max} \leq P(v) \\ P(v) & \text{dla } v = 0 \text{ i } T_{st\ max} > P \\ T_k & \text{dla } v \neq 0 \end{cases} \quad (5)$$

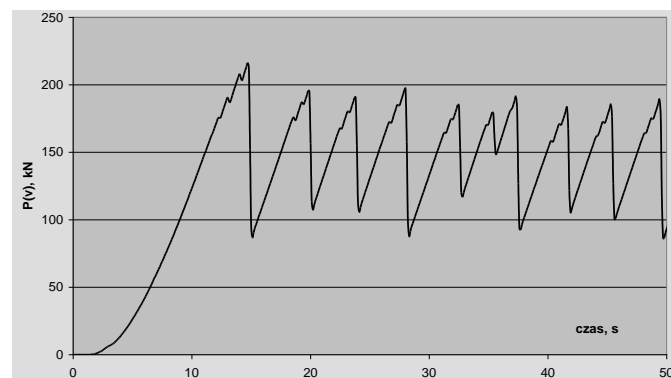
where: v – velocity of the section sliding down.

Adopted scheme of loading and presented description of kinetic processes occurring in the friction joint during the static axial compression allows the determination of working characteristics of the joint and its appropriate interpretation.

Bearing in mind the above analysis and according to the model shown in Fig. 1 were carried out the stand tests of friction joint made with V29 sections with two SDO 29 stirrups. There were examined joints of different values of the initial axial forces in the bolts in stirrup. Sum of the initial value of axial forces in the bolts in stirrup is equal to the value of force N pressing the cooperating sections.



Rys. 3. Charakterystyka pracy złącza ciernego uzyskana na podstawie badań stanowiskowych
 Fig 3. Working characteristics of friction joint, obtained on the basis of stand tests



Rys. 4. Przebieg impulsu, w czasie którego zarejestrowano maksymalną siłę przenoszoną przez złącze ciernie
 Fig. 4. The course of the impulse, during which the maximum force carry out by the friction joint was recorded

Na rysunku 3 przedstawiona została, wyznaczona na podstawie badań, charakterystyka pracy złącza ciernego, dla którego suma wartości wstępnych sił osiowych w śrubach strzemion wynosiła 280 kN. Maksymalna wartość siły (P_{zmax}) przeniesionej przez złącze, która odpowiada maksymalnej nośności zsuwnej złącza według [5] wyniosła 210 kN i jest równa wartości siły zrywającej złącze (P_{z1}) odpowiadającej według [5] nośności zsuwnej złącza w chwili wystąpienia pierwszego zsuwu.

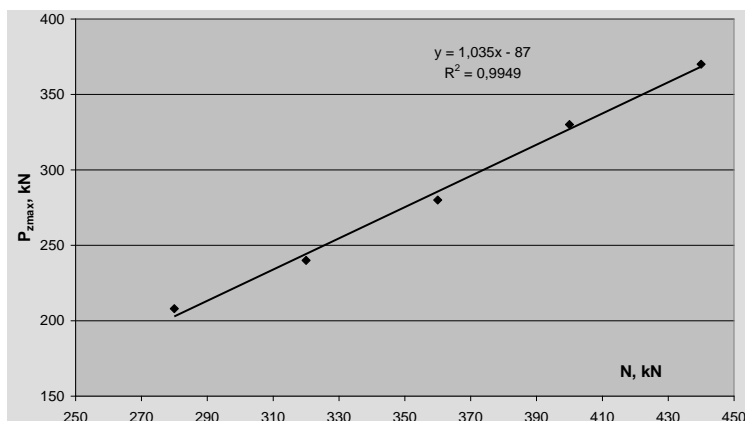
Na rysunku 4 przedstawiono przebieg początkowych impulsów z charakterystyki pracy złącza ciernego, w czasie których dochodziło do zsuwów. Maksymalną wartość siły, jaką przeniosło złącze, zarejestrowano w momencie wystąpienia pierwszego zsuwu.

Badania złączy ciernych poddanych statycznemu osiowemu ściskaniu przeprowadzono dla różnych wartości wstępnych sił osiowych w śrubach strzemion. Przełożyło się to bezpośrednio na różne wartości wstępnych sił, z jakimi były dociskane współpracujące kształtowniki w złączu. Na tej podstawie wyznaczono zależność maksymalnej wartości siły (P_{zmax}) przenoszonej przez złącze ciernie od wstępnej wartości siły (N), z jaką dociskane były współpracujące kształtowniki (Rys. 5).

In the Fig. 3 was presented working characteristics of friction joint determined on the base of the tests for which sum of the initial value of axial forces in the bolts in stirrups was equal to 280 kN. Maximum value of the forces (P_{zmax}) transferred by the joint, which is corresponding to maximum load of yield, according to [5], was equal 210 kN and is equal to the value of breaking force (P_{z1}) corresponding to load of yield for joint in the moment when the first yield is occurring, according to [5].

Figure 4 shows the course of the initial impulse from the working characteristics of friction joint at the moment when the yield occurred. The maximum value of the force which joint transmits, was recorded at the time of the first yield.

Tests of friction joint subjected to static axial compression was conducted for different values of the initial axial forces in the bolts in stirrups. This translated directly to the different values of the initial forces, of which were pressed against cooperating sections in the joint. Based on this was determined the dependence of the maximum force (P_{zmax}) transmitted the joint from the initial value of force (N), which were pressed against cooperating sections (Fig. 5).



Rys. 5. Maksymalne wartości siły przenoszonej przez złącze cierne w zależności od wstępnej wartości siły, z jaką dociskane są współpracujące kształtowniki

Fig. 5. The maximum value of the force transmitted by the friction joint, depending on the initial value of the force, which is pressed against cooperating sections

Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że wraz ze wzrostem wartości wstępnych sił, z jakimi są dociskane współpracujące kształtowniki w złączu ciernym, rosną wartości maksymalnej siły, jaką przenosi złącze. W zakresie przeprowadzonych badań można przyjąć, że zależność ta ma charakter liniowy.

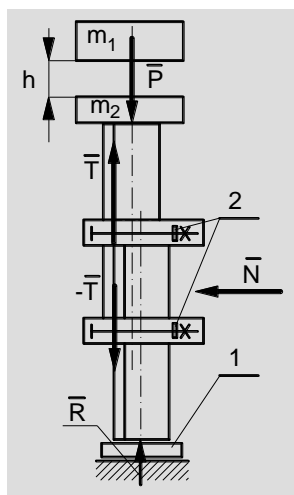
Based on the obtained results one can claim that with increasing values of initial forces, which are pressed against cooperation sections in the friction joint, increasing the value of the maximum force which joint may carry out. In the range of the tests can be assumed that this relationship is linear.

3. WYZNACZANIE CHARAKTERYSTYKI PRACY ZŁĄCZA CIERNEGO OBCIĄŻONEGO DYNAMICZNIE

Charakterystyki pracy złączy ciernych obciążonych dynamicznie wyznaczono na podstawie badań stanowiskowych przeprowadzonych na specjalistycznym stanowisku badawczym, którego schemat został przedstawiony na rysunku 6.

3. DETERMINATION OF WORKING CHARACTERISTICS OF FRICTION JOINT LOADED DYNAMICALLY

Working characteristics of the friction joints which dynamically loaded is determined basing on the stand tests performed on a specialized bench, whose scheme is shown in Fig. 6.



Rys. 6. Schemat stanowiska do badań dynamicznych złączy ciernych
Fig. 6. Scheme of the stand for dynamic tests of loaded friction joints

Badania polegały na osiowym obciążeniu złącza ciernego masą uderową m_1 swobodnie spadającą z określonej wysokości h na trawersę o masie m_2 , bezpośrednio spoczywającą na złączu ciernym. Badania przeprowadzono dla czterech różnych wysokości, z jakich dochodziło do spadku masy uderowej. Wielkość masy uderowej była stała i wynosiła 4000 kg, podobnie jak wielkość masy trawersy, która wynosiła 1600 kg. Wysokości, z jakich dochodziło do spadku masy były tak dobrane, aby charakterystyki wyznaczanych parametrów obejmowały jak najszerszy zakres zmian energii uderu. Złącza cierne podobnie, jak w przypadku badań pod obciążeniem statycznym, były wykonane z kształtownika V29 z dwoma strzemionami SDO29.

W trakcie badań rejestrowane były wartości siły przenoszonej przez złącze za pomocą czujnika siły 1, wartości sił osiowych w śrubach strzemion za pomocą czujników tulejowych 2 oraz przemieszczanie zsuwającego się kształtownika za pomocą kamery szybkoobrazkowej.

Rejestrowana przez czujnik 1 zmiana wartości siły pod złączem ciernym w funkcji czasu wyznacza charakterystykę dynamiczną złącza ciernego. Określa ona zmianę wartości siły przenoszonej przez złącze cierne obciążone udarem masy. Wartość tej siły charakteryzuje także nacisk, jaki wywiera złącze na podłoże, co odpowiada reakcji podłoża R .

W wyniku przeprowadzonych badań wyznaczono charakterystyki dynamiczne złączy ciernych dla czterech wysokości, z jakich spadała masa uderowa oraz dla różnych wartości wstępnych sił osiowych w śrubach strzemion.

Na rysunku 7 przedstawiono charakterystykę dynamiczną złącza ciernego obciążonego masą spadającą swobodnie spadającą z wysokości 0,7 m, w którym sumaryczna wartość wstępnych sił osiowych (N) w śrubach strzemion wynosiła 320 kN.

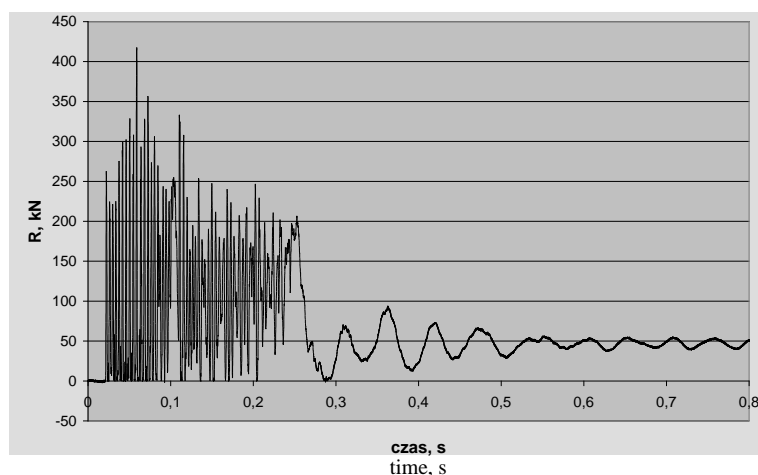
Tests consisted of an axial loading of the friction joint with the mass m_1 falling freely from a define height h to traverse with mass m_2 directly resting on the friction joint. The tests was conducted for four different heights. The mass was constant and equal to 4000 kg similarly to the mass of traverse which was equal to 1600 kg. Height, from which there have to drop of the mass were chosen, so that the characteristics of determined parameters included widest range of changing impact energy. Friction joint, as in the static tests, was made of V29 sections with two SDO 29 stirrups.

During the tests there were recorded values of the force which transmitted by joint, with the use of force sensor 1, values of axial forces in the bolts in stirrups were obtain from the sleeve sensor 2 and sliding down movement of section, with the use of the high-speed camera.

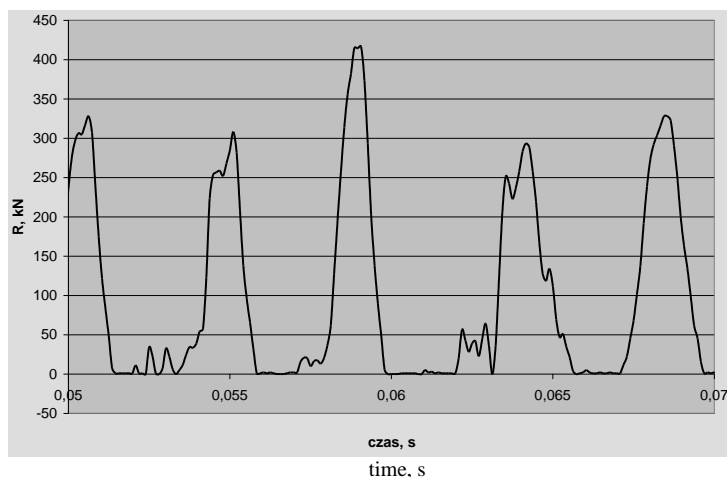
Recorded by the sensor 1 a change of the forces under friction joint as a function of time determined the dynamic characteristic of the friction joint. It defines the change in the force transmitted via friction joint loaded stroke of mass. The value of this force is also characterized by the pressure of a joint to the ground, which corresponds to ground reaction R .

As a result of conducted tests there was determined the dynamic characteristics of the friction joints for the four heights, from which the mass dropped, and for different values of initial axial forces in the bolts in stirrups.

Figure 7 shows the dynamic characteristic of friction joints loaded with the impact mass falling freely from a height of 0.7 m, in which the total value of the initial axial forces (N) in the bolts in stirrups was 320 kN.



Rys. 7. Charakterystyka dynamiczna złącza ciernego obciążonego masą spadającą z wysokości 0,7 m
Fig. 7. The dynamic characteristic of friction joints loaded with mass falling from a height of 0.7 m



Rys. 8. Fragment charakterystyki dynamicznej złącza ciernego, w czasie którego zarejestrowano maksymalną siłę przenoszoną przez złącze
Fig. 8. Part of the dynamic characteristics of the friction joint during which maximum force transmitted by the friction joint was recorded

Analizując otrzymaną charakterystykę można wyznaczyć poszczególne fazy pracy złącza ciernego obciążonego udarem masy. W pierwszej fazie nastąpił wzrost wartości siły przenoszonej przez złącze. Maksymalna zarejestrowana wartość tej siły w przedstawionym przypadku wyniosła 416 kN. Po przekroczeniu nośności zsuwnej złącza nastąpił zsuw powodujący zmniejszenie wartości przenoszonej siły przez złącze. Następnie wystąpiły drgania całego układu, które przy braku zsuwu w złączu uległy wytłumieniu. Po upływie około 0,5-0,6 s nastąpiło przejście całego układu w stan ustalony. W stanie tym złącze było obciążone siłą wynikającą ze statycznego działania spoczywających na nim masy udarowej (m_1) i masy trawersy (m_2).

Bardzo istotne znaczenie dla analizy charakterystyki dynamicznej złącza ciernego ma wyznaczenie maksymalnej wartości siły przenoszonej przez złącze w czasie udaru. W tym celu przeanalizowane zostały poszczególne impulsy siły przenoszonej przez złącze cierne. Na rysunku 8 przedstawiono fragment charakterystyki dynamicznej złącza ciernego, w czasie którego zarejestrowano maksymalną siłę w złączu.

W trakcie badań wyznaczono także zależności pomiędzy energią udaru E a maksymalną wartością siły (R_{max}) przenoszonej przez złącze cierne (Rys. 9). Zależności te zostały wyznaczone dla różnych sumarycznych wartości wstępnych sił osiowych (N) w śrubach strzemion złącza ciernego.

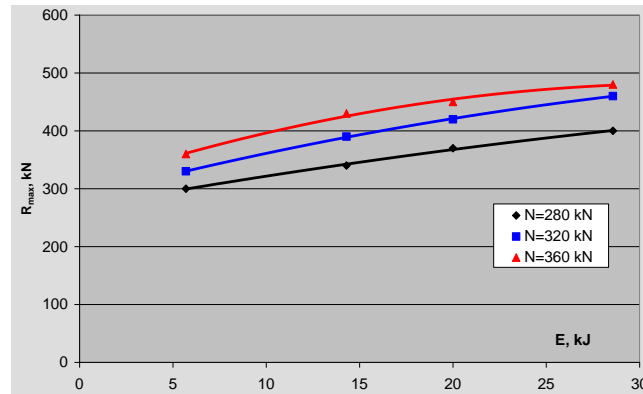
Analiza uzyskanych wyników jednoznacznie wskazuje, że wraz ze wzrostem wysokości h , z jakiej spada masa udarowa (wzrost energii udaru E), rośnie maksymalna wartość siły obciążającej złącze cierne (reakcji dynamicznej złącza ciernego). Wzrost sumarycznej wartości sił osiowych w śrubach strzemion powoduje także wzrost maksymalnej wartości siły obciążającej złącze cierne.

Analysing the obtained characteristics one can determine the individual phases of the work of friction joints loaded with an impact mass. In the first phase increased the force transmitted by the joint. The maximum recorded value of this force in this case, was 416 kN. After exceeding the loading capacity of the joint the yield occurred, causing decrease of the forces transmitted by the joint. Then occurred vibrations of the whole system, which in the absence of the yield in the joint were dumped. After about 0.5-0.6 s there is a transition of the whole system in a steady state. In this state the joint was loaded with a force resulting from the static action of the impact mass (m_1) and mass of traverse (m_2), resting on the joint.

Very significant meaning for the analysis of the dynamic characteristics of friction joints have determination of the maximum value of force transmitted by the joint during the stroke. For this purpose, the individual impulses of forces transmitted via joint were analysed. Figure 8 shows the part of the dynamic characteristics of the friction joint during which maximum force transmitted by the friction joint was recorded.

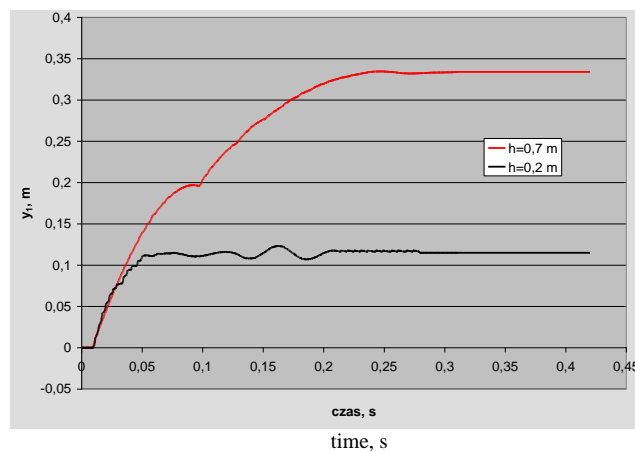
During the study was determined the relationships between the impact energy E , and the maximum value of the force (R_{max}) transmitted by the friction joint (Fig. 9). These relationships have been designated for various total initial values of axial forces (N) in the bolts in stirrups.

Analysis of obtained results clearly indicates, that with increasing height h from which the impact mass drops (increase of the impact energy E), maximum value of the force loading the friction joint (a friction joint dynamic reaction) increases. The increase in the sum of axial forces in bolts in stirrups increases the maximum value of this force.



Rys. 9. Zależności maksymalnej wartości siły przenoszonej przez złącze ciernie w funkcji energii udaru dla różnych sumarycznych wartości sił osiowych w śrubach strzemion

Fig. 9. Dependences of the maximum value of the force transmitted by the friction joint as a function of impact energy for the various total values of the axial forces in the bolts in stirrups



Rys. 10. Zmiana położenia kształtownika w czasie zsuwu w złączu ciernym w zależności od wysokości spadku masy udarowej

Fig. 10. Characteristics of the change in the position of the profile during yield in the friction joint, depending on the height of impact mass

W trakcie badań dokonano również pomiaru wielkości zsuwu w złączu ciernym. Do tego celu wykorzystano kamerę szybkoobrazkową (szybkoklatkową). Umożliwiła ona rejestrację kolejnych położenia elementów złącza ciernego w czasie zsuwu oraz wyznaczenie charakterystyki przemieszczania się w osi pionowej punktów zlokalizowanych na zsuwającym się kształtowniku i na strzemionach złącza ciernego.

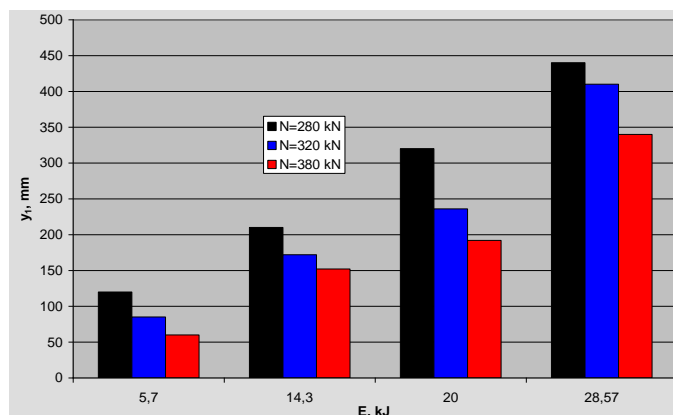
Na rysunku 10 przedstawiono charakterystyki przemieszczania się górnych kształtowników w czasie zsuwu w złączach obciążonych masą udarową spadającą z wysokości 0,7 m i 0,2 m przy sumarycznej wartości sił osiowych w śrubach strzemion wynoszących 280 kN. Całkowite zsuwy wyniosły odpowiednio 0,335 m i 0,115 m.

Przeprowadzone badania umożliwiły również wyznaczenie charakterystyk określających całkowite zsuwy (y_f) przemieszczającego się kształtownika w zależności od energii udaru (E) dla różnych wartości wstępnych sił osiowych w śrubach strzemion złącza ciernego (Rys. 11).

During the tests there have been made also measures of the yield in joint friction. For this purpose, the high-speed camera was use. It allowed the registration of the successive positions of the elements of friction joint during yield and the determined characteristics of movement in the vertical axis points situated on the section which was slipped down and on in the stirrups of friction joints.

Figure 10 shows the characteristics of movement of the upper sections during the yield in the joints which were loaded with impact mass falling from a height of 0.7 m and 0.2 m at the total value of axial forces in the bolts in stirrups 280 kN. Total yields were, respectively 0.335 and 0.115 m.

Executed tests allowed also the determination of characteristics that describing the total yield (y_f) of moving section, depending on the impact energy (E) for different values of initial axial forces in the bolts in stirrups in friction joint (Fig. 11).



Rys. 11. Całkowite zsuwy w złączu ciernym w zależności od energii uderu i sumarycznej wartości wstępnych sił osiowych w śrubach

Fig. 11. Total yield in the friction joint, depending on the impact energy and the total value of the initial axial forces in bolts

Analiza tych wyników pozwala stwierdzić, że wraz ze wzrostem energii uderu rośnie wartość zsuwów w złączu ciernym. Zwiększenie wartości wstępnych sił osiowych w śrubach strzemion powoduje natomiast zmniejszenie wartości tych zsuwów.

Analysis of these results enable to claim, that with the increase of the impact energy, value of the yields of the friction joint increases. Increase of the initial values of axial forces in the bolts in stirrup causes decrease of the values of these yields.

4. PODSUMOWANIE

Przedstawione w niniejszym artykule wyniki badań stanowiskowych dowodzą, że charakter obciążenia złącza ciernego ma bardzo istotny wpływ na charakterystykę jego pracy.

Realizowane w czasie badań obciążenie narastające ze stałą prędkością, traktowane jako statyczne oraz obciążenie dynamiczne wynikające ze swobodnego spadku z określonej wysokości masy uderowej powodują różne reakcje konstrukcji złączy ciernych.

W przypadku uderowego obciążania złącza masą swobodnie spadającą z określonej wysokości, maksymalne wartości sił przenoszonych przez złącza cierne są znacznie wyższe od wartości sił przenoszonych w przypadku obciążenia statycznego. Krótki czas trwania tego obciążenia wywołuje jednak *dynamiczne wzmocnienie konstrukcji*, co powoduje, że złącza przenoszą tak wysokie wartości sił, nie ulegając zniszczeniu.

Te znaczne wartości sił zewnętrznych działających w krótkim czasie na złącza cierne powodują jednak duże jednorazowe zsuwy, których wartości są zależne od wartości energii uderu oraz od wartości wstępnych sił osiowych w śrubach strzemion. Maksymalna wartość siły przenoszonej przez złącze cierne występuje w momencie rozpoczęcia zsuwu, a później znacznie maleje. Można przyjąć, że w czasie zsuwu złącze cierne praktycznie nie przenosi obciążenia zewnętrznego.

4. SUMMARY

Results of stand tests presented in this paper proves that the methods of loading friction joint has a very significant impact on the characteristics of its work.

Loading executed during the test the increasing whit constant velocity treated as static loading and the dynamic loading resulting from free-fall of the impact mass, cause different reactions of friction joints constructions.

In the case of impact loading of joint with mass free-falling from a specified height, the maximum values of forces acting on the friction joint is much higher than the values of forces acting in the case of static loading. Short duration of this loading, induces dynamic strengthening of construction, which makes joint transmits such a high values of strength, are not undergoing the destruction.

These high values of external forces acting in the short time on the friction joint, cause large disposable yield which values are dependent on the value of impact energy and the value of the initial axial forces in the bolts in stirrups. The maximum value of the force transmitted by the joint occurs at the beginning yield and then significantly decreases. It can be assumed that during the yield friction joint practically does not transfer the external load.

Wzrost wartości wstępnych sił osiowych w śrubach strzemion powoduje, że złącze cierne staje się bardziej sztywne, co przy stałej wartości energii uderu prowadzi do wzrostu maksymalnych wartości sił przenoszonych przez złącze przy jednoczesnym zmniejszeniu wartości zsuwów.

Podobne procesy zachodzą w złączach ciernych obciążonych statycznie, dla których zanotowano także duży wpływ wartości wstępnych sił osiowych w śrubach strzemion na wartości maksymalnych sił przez nie przenoszonych.

Przy obciążeniach statycznych przekroczenie przez zewnętrzną siłę działającą na złącze wartości siły tarcia statycznego w złączu powoduje wystąpienie zsuwów oraz dynamiczny spadek wartości siły przenoszonej przez złącze. Dalsze zsuwy w złączu przebiegają nieregularnie, najczęściej przy niższych wartościach siły przenoszonej przez złącze, niż przy pierwszym zsuwie, co jest spowodowane głównie zmniejszeniem wartości sił osiowych w śrubach strzemion.

Uzyskane wyniki jednoznacznie wskazują, że zarówno przy obciążeniu statycznym, jak i dynamicznym, charakterystyki pracy obecnie stosowanych konstrukcji złączy ciernych są niezadowolające.

Uzasadnionym staje się prowadzenie dalszych badań stanowiskowych oraz analiz teoretycznych dla pełniejszego poznania zjawisk zachodzących w złączach ciernych w czasie ich pracy w celu opracowania ich nowych konstrukcji.

The increase in the value of the initial axial forces in the bolts in stirrups, causes that joint becomes more rigid, what at constant impact energy leads to an increase in the maximum value of forces loading the joint while reducing the value of yields.

Similar processes occurs in statically loaded friction joints for which there was also a significant effect of initial axial forces in the bolts in stirrups on the value of the maximum forces are not transferred.

With static loading exceeded by an external force acting on the joint, values of the force of static friction in the joint causes the yields and the dynamic drop of the value of force transmitted by the joint. Further yields in the joint usually run intermittently at lower force transmitted by the joint than the first yield, which is caused mainly by the reduction of axial forces in the bolts in stirrups.

The obtained results clearly show that both, the static and dynamic loadings, of currently used constructions of the friction joints, their working characteristics are unsatisfactory.

It becomes reasonable to conduct further research and theoretical analysis for a fuller understanding of the phenomena occurring in friction joints during their work in order to develop their new constructions.

Literatura

1. *Brodny J.*: Zastosowanie modelu funkcjonalnego do analizy pracy złącza ciernego odrzwi obudowy górniczej obciążonej dynamicznie. *Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa* 2010, nr 11.
2. *Kowalski E.*: Wpływ parametrów technicznych odrzwi łukowej obudowy chodnikowej na zdolność przejmowania obciążeń dynamicznych. Praca doktorska. GIG, Katowice 1997.
3. *Pacześniowski K., Pytlík A.*: Wpływ energii uderu na nośność dynamiczną ciernych złączy odrzwi obudowy ŁP. *Prace Naukowe GIG nr 53/2007*. Katowice 2007.
4. *Stoiński K.*: Wybrane problemy współpracy obudowy wyrobisk górniczych z górotworem w warunkach obciążeń dynamicznych - tępą. *ZN Pol. Śl. Gliwice* 1988.
5. PN-91/G-15000/11: Obudowa chodników odrzwiami podatnymi z kształtowników korytkowych. *Kształtowniki korytkowe proste. Badanie złącz.*

Recenzent: doc. dr hab. inż. Stanisław Prusek

References

1. *Brodny J.*: Zastosowanie modelu funkcjonalnego do analizy pracy złącza ciernego odrzwi obudowy górniczej obciążonej dynamicznie. *Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa* 2010, nr 11.
2. *Kowalski E.*: Wpływ parametrów technicznych odrzwi łukowej obudowy chodnikowej na zdolność przejmowania obciążeń dynamicznych. Praca doktorska. GIG, Katowice 1997.
3. *Pacześniowski K., Pytlík A.*: Wpływ energii uderu na nośność dynamiczną ciernych złączy odrzwi obudowy ŁP. *Prace Naukowe GIG nr 53/2007*. Katowice 2007.
4. *Stoiński K.*: Wybrane problemy współpracy obudowy wyrobisk górniczych z górotworem w warunkach obciążeń dynamicznych - tępą. *ZN Pol. Śl. Gliwice* 1988.
5. PN-91/G-15000/11: Obudowa chodników odrzwiami podatnymi z kształtowników korytkowych. *Kształtowniki korytkowe proste. Badanie złącz.*

ВЛИЯНИЕ СПОСОБА НАГРУЗКИ ФРИКЦИОННОГО СОЕДИНЕНИЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКУ ЕГО РАБОТЫ

В статье представлено результаты исследований соединений, подвергаемых статическому и динамическому осевому сжатию. Статические исследования основывались на нагрузке фрикционного соединения силой, являющейся результатом перемещения с постоянной скоростью поршня испытательной машины. Результатом данной нагрузки было появление в соединении прерывистого движения сползающего профиля и изменения величины силы, переносимой соединением, что является примером динамического ответа статически нагруженного соединения. В случае динамической нагрузки её источником была ударная масса, свободно падающая с определённой высоты на, находящийся на фрикционном соединении, траверз.

В результате этого в соединении происходило динамическое изменение величины переносимой силы и появление динамических смещений. В данном случае результатом динамического воздействия, действующего на фрикционное соединение, был его динамический ответ. На основании проведённых исследований можно подтвердить, что способ нагрузки фрикционного соединения имеет очень значимое влияние на характеристику его работы.