

Krzysztof Paczeński, Andrzej Pytlík**

METODYKA WYZNACZANIA DYNAMICZNEJ NOŚNOŚCI CIERNYCH ZŁĄCZY STOSOWANYCH W OBUDOWIE GÓRNICZEJ

Streszczenie

W artykule przedstawiono metodykę wyznaczania dynamicznej nośności ciernych złączy stosowanych w górniczych stojakach podporowych oraz w stalowych odrzwiach obudowy chodnikowej, na podstawie wyników badań stanowiskowych. Opisano teoretyczne podstawy metody oraz jej praktyczną realizację na stanowisku badawczym w Głównym Instytucie Górnictwa. Przedstawiono również przykładowe wykresy obrazujące wpływ energii uderzenia na dynamiczną nośność złączy różnych typów.

Methodology of dynamic load capacity determination of frictional joints applied in mining support

Abstract

In the paper, a methodology was presented of determining dynamic load capacities of frictional joints applied in mining support props and in steel frames of road supports, on a basis of results of stand tests. Theoretical basis of the method and its practical implementation on a test stand in Central Mining Institute were described. Examples of graphs were also presented, illustrating impact of striking energy onto dynamic load capacity of joints of different types.

WPROWADZENIE

Spośród elementów upodatniających odrzwia obudowy chodnikowej oraz stojaki podporowe najczęściej są stosowane złącza cierne. Złącze takie składa się z dwóch odcinków kształtownika połączonych ze sobą na zakładkę za pomocą dwóch lub trzech strzemion. Taki element upodatniający działa na zasadzie tarcia posuwistego (suwnego). Siła powodująca zsuw złącza jest zależna od siły docisku powierzchni stykających się ze sobą oraz od rodzaju tych powierzchni, to znaczy od materiału, z którego zostały wykonane (współczynnik tarcia), stopnia ich wygładzenia, zanieczyszczeń itp.

Zgodnie z wymaganiami, zawartymi w polskich normach, złącza cierne charakteryzują dwa podstawowe parametry, a mianowicie: nośność robocza (PN-91/G-15000/11), wyrażana jako wartość obciążenia złącza, przy którym następuje jego pierwszy zsuw oraz średnia nośność robocza złącza (PN-G-15533:1997), będąca średnią arytmetyczną wartości obciążenia występującego przed kolejnymi zsuwami w złączu, przy założeniu, że łączna długość zsuwu wynosi 200 mm. Oba te parametry są wyznaczane przy statycznym obciążaniu złącza, natomiast samo zjawisko zsuwu w złączu ma charakter wyraźnie dynamiczny.

* Główny Instytut Górnictwa.

W podziemnym wyrobisku górnictwa na odrzwia obudowy oddziałują głównie obciążenia statyczne, ale mogą się na nie nałożyć również obciążenia dynamiczne, spowodowane na przykład wstrząsami górotworu. Przy takich obciążeniach ciernych złącz jest ważna znajomość ich dynamicznej nośności, to znaczy zależności oporu zsuwu tego złącza w czasie obciążenia dynamicznego od energii uderzenia wywołującej ten zsuw. Problematyka ta została omówiona między innymi w opracowaniach (Ciałkowski 1996; Pacześniowski, Pytlik, Radwańska i inni 2005). Badania złączy mają charakter badań porównawczych. Pozwalają one na porównywanie ze sobą wartości dynamicznej nośności złączy ciernych różnych typów (np. klinowych, ze strzemionami), wykonanych z różnych profili, na przykład rurowych, V itd.

Zgodnie z normą (PN-G-15533:1997) jest wymagane sprawdzenie dynamicznej odporności ciernego stojaka, a tym samym również jego złącza ciernego. Badanie to polega jedynie na obciążeniu stojaka masą 4 t, spadającą swobodnie z wysokości 0,7 m (energia o wartości $2,8 \cdot 10^4$ J), a następnie sprawdzeniu czy stojak nie uległ trwałym odkształceniom, które uniemożliwiłyby jego prawidłową pracę.

W artykule przedstawiono sposób wyznaczania dynamicznej nośności złączy ciernych na podstawie wyników badań stanowiskowych wykonanych w Zakładzie Badań Urządzeń Mechanicznych Głównego Instytutu Górnictwa.

1. TEORETYCZNE PODSTAWY WYZNACZANIA DYNAMICZNEJ NOŚNOŚCI CIERNYCH ZŁĄCZY

W metodyce wyznaczania dynamicznej nośności ciernych złączy przyjęto następujące, podstawowe założenia, a mianowicie:

- obciążenie dynamiczne badanego złącza ciernego jest wywoływane udarem masy,
- uderzenie masy udarowej m_1 w trawersę o masie m_2 jest zderzeniem doskonale plastycznym.

Istota badania polega na dynamicznym obciążeniu badanego złącza masą udarową m_1 , swobodnie spadającą z wysokości H , przez trawersę o masie m_2 (rys. 1).

W wyniku tego obciążenia następuje zsuw w złączu długości z . Znając wartości mas m_1 i m_2 , wysokość H spadku masy udarowej m_1 oraz długość zsuwu z w złączu, można obliczyć całkowitą energię L_d działającą na badane złącze oraz wartość dynamicznej nośności N_d (oporu zsuwu) złącza (na drodze zsuwu).

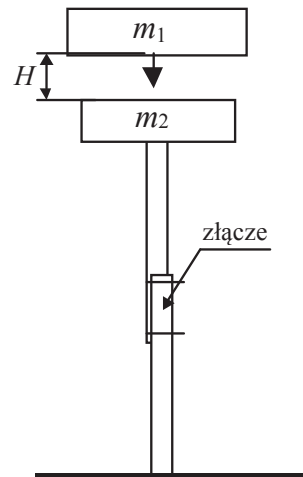
Prędkość v_o masy udarowej (obciążnika) spadającej swobodnie z wysokości H w chwili uderzenia w trawersę oblicza się z zależności

$$v_o = \sqrt{2gH} \quad (1)$$

gdzie g – przyspieszenie ziemskie.

Prędkość połączonych mas obciążnika m_1 i trawersy m_2 (po uderzeniu plastycznym), odpowiadająca początkowej prędkości zsuwu złącza, oblicza się z zależności

$$v_p = v_o \frac{m_1}{m_1 + m_2} \quad (2)$$



Rys. 1. Sposób wyznaczenia dynamicznego oporu zsuwu złącza ciernego
 Fig. 1. The way of dynamic resistance of frictional joint drop determination

Energia kinetyczna połączonych mas m_1 i m_2 na początku zsuwu wynosi zatem

$$E_k = \frac{1}{2}(m_1 + m_2)v_p^2 \quad (3)$$

Podstawiając wzory (1) i (2) do wzoru (3) otrzymuje się

$$E_k = H \frac{m_1^2}{m_1 + m_2} g \quad (4)$$

Całkowita energia działająca na złącze wynosi

$$E_c = E_k + (m_1 + m_2) g z \quad (5)$$

Dynamiczną nośność N_d złącza natomiast oblicza się wzorem

$$N_d = \frac{E_c}{z} \quad (6)$$

Po podstawieniu wzorów (4) i (5) do (6) otrzymuje się

$$N_d = \frac{m_1^2}{m_1 + m_2} g \frac{H}{z} + (m_1 + m_2) g \quad (7)$$

Ze wzoru (7) wynika że, dynamiczna nośność N_d złącza ciernego (np. stosowanego w stojakach SV lub Valent) jest średnią wartością dynamicznego oporu zsuwu na drodze odpowiadającej długości zsuwu, wynikającą z obciążenia złącza energią kinetyczną E_k .

W zależności od potrzeb, wartość dynamicznej nośności N_d złącza można wyznaczyć dla jednej wartości energii kinetycznej E_k udaru jako średnią wartość dynamicznej nośności złącza $N_{d\text{sr}}$ ze wzoru

$$N_{d\text{sr}} = \frac{\sum_{i=1}^n N_{d_i}}{n} \quad (8)$$

gdzie n – liczba wyznaczonych wartości dynamicznej nośności złącza, przy stałej wartości energii kinetycznej udaru.

Dynamiczną nośność złącza można przedstawić również dla kilku wartości energii kinetycznej E_k z określonego przedziału, określając tę nośność w postaci zależności funkcyjnej $N_d = f(E_k)$.

2. PRAKTYCZNY SPOSÓB WYZNACZANIA DYNAMICZNEJ NOŚNOŚCI ZŁĄCZ CIERNYCH

2.1. Stanowisko badawcze

Do wykonywania badań pozwalających na wyznaczenie dynamicznej nośności złącza jest konieczne posiadanie stanowiska kafarowego o odpowiednich parametrach. Stanowisko takie zostało zbudowane w Głównym Instytucie Górnictwa (fot. 1). Na podstawie jego technicznych możliwości oraz dotychczasowych doświadczeń ustalono wartości masy m_1 obciążnika oraz m_2 trawersy, jak również określono możliwy zakres wartości energii E_k do wyznaczenia dynamicznej nośności N_d złączy. Są to istotne parametry badania, pozwalające bowiem na zachowanie porównawczego charakteru badań dynamicznej nośności złączy ciernych.

Stanowisko to służy przede wszystkim do badania hydraulicznych stojaków stosowanych w zmechanizowanych obudowach ścianowych, ale dzięki dodatkowemu wyposażeniu jest również wykorzystywane do badania innych elementów konstrukcyjnych (kotwi, łańcuchów, absorberów energii itp.), a w tym złączy ciernych. Składa się ono z dwóch pionowych słupów posadowionych na 600-tonowym fundamencie. Służą one do prowadzenia, podczas badania, zarówno trawersy, jak i masy udarowej. Do podnoszenia masy udarowej i umożliwienia jej swobodnego opuszczania służy specjalnie skonstruowane hydrauliczne zawiesie w suwnicy ramowej. Można na tym stanowisku badać elementy o maksymalnych gabarytach $5 \times 2 \times 6$ m (wysokość \times szerokość \times długość), stosując masy udarowe o wartości od 1 do 30 ton. Maksymalna wartość energii udaru wynosi 500 kJ, a maksymalna, wstępna siła rozparcia, w przypadku stojaków hydraulicznych, wynosi 2 MN. Stanowisko jest wyposażone w aparaturę pomiarową (wzmacniacz DMC plus firmy Hottinger), która pozwala na rejestrację i archiwizowanie wartości ciśnienia, siły oraz drogi, z maksymalną częstotliwością próbkowania 9600 Hz. Analiza otrzymanych wyników jest wykonywana za pomocą programu CATMAN oraz specjalistycznych programów opracowanych w Zakładzie Badań Urządzeń Mechanicznych GIG.



Fot. 1. Złącze kształtowników w stanowisku badawczym

Phot. 1. Joint of sections in the test stand

W stanowisku badawczym podczas badań złączy ciernych, zgodnie z założeniami metodyki, należy stosować trawersę o masie m_2 wynoszącej 1600 lub 3300 kg oraz masę uderową m_1 wynoszącą 4000 kg. Wartość energii kinetycznej uderu może wynosić maksymalnie 0,2 MJ.

Z uwagi na fakt, że badania dynamicznej nośności złączy są badaniami porównawczymi, pozwalającymi na porównywanie dynamicznej nośności złączy o różnej konstrukcji, muszą być wykonywane przy zastosowaniu mas o wartościach określonych w metodyce.

2.2. Przebieg badania

W celu wyznaczenia dynamicznej nośności złącza ciernego z kształtowników V należy przygotować złącze składające się z dwóch prostych odcinków tego kształtownika o długości około 2 m, połączonych ze sobą na zakładkę długości 0,6 m za pomocą strzemion, których nakrętki śrub dokręcono kluczem dynamometrycznym z wymaganą wartością momentu. W przypadku innych rodzajów złączy ciernych (np. klinowych stosowanych w stojakach Valent) należy dobrać stojak o wysokości około 3,4 m. Tak przygotowane złącze należy umieścić na stanowisku badawczym i obciążyć trawersą o masie 1600 kg (dla stojaków typu Valent) lub 3300 kg (dla stojaków typu SV oraz ciernych złączy wykonanych z kształtowników V).

W celu zapewnienia jednakowych warunków początkowych podczas wyznaczania oporu zsuwu dla określonej wysokości spadku masy obciążnika, złącze należy obciążyć dynamicznie obciążnikiem o masie 4000 kg, spadającym swobodnie z wysokości około 0,10 m. Po ponownym dokręceniu nakrętek śrub z wymaganą wartością momentu (lub dobieciem klinów) i zaznaczeniu początkowego położenia elementów

przesuwających się względem siebie podczas zsuwu, złącze jest przygotowane do przeprowadzenia właściwych badań.

Badania oporu zsuwu złącza ciernego polegają na dynamicznym, osiowym obciążeniu złącza (na którym jest położona trawersa o masie m_2) swobodnie spadającą z wysokości H masą uderową (obciążnikiem) m_1 . W wyniku obciążenia dynamicznego następuje zsuw w złączu długości z . Po każdym obciążeniu złącza, za pomocą suwmiarki lub czujnika przemieszczenia, wykonuje się pomiar długość zsuwu z oraz sprawdza się, czy nie wystąpiły uszkodzenia złącza uniemożliwiające jego dalszą prawidłową pracę.

Wysokość H spadku masy uderowej oraz odczytaną długość z zsuwu zapisuje się w elektronicznym formularzu, który na bieżąco oblicza wartość dynamicznej nośności N_d badanego złącza.

Kolejne próby obciążania złącza powtarza się do chwili uzyskania całkowitego zsuwu długości około 1 m, przy czym przed każdym kolejnym obciążeniem, nakrętki śrub strzemion należy dokręcić z wymaganą wartością momentu (lub dobić kliny). W zależności od wymagań stosuje się jedną wysokość spadku masy uderowej (stała wartość energii kinetycznej) lub kilka w określonym przedziale.

2.3. Przykłady

W tabelicy 1 przedstawiono przykłady (Pacześniowski, Pytlik, Radwańska i in. 2005; Pytlik, Pacześniowski, Radwańska i in. 2006) wyznaczenia średniej nośności dynamicznej złącza kształtowników V29 ze strzemionami dwujarzmowymi dla określonej wartości energii kinetycznej $E_{k\text{ śr.}}$. W tablicach 2–4 zestawiono wyniki badań stojaków ciernych, a na rysunkach 2–4 przedstawiono, w postaci graficznej, wpływ wartości energii kinetycznej E_k na dynamiczną nośność N_d stojaka ciernego.

Tablica 1. Średnia nośność dynamiczna złącza ciernego (kształtownik V32 ze strzemionami SDO36) przy energii kinetycznej 21,5 kJ

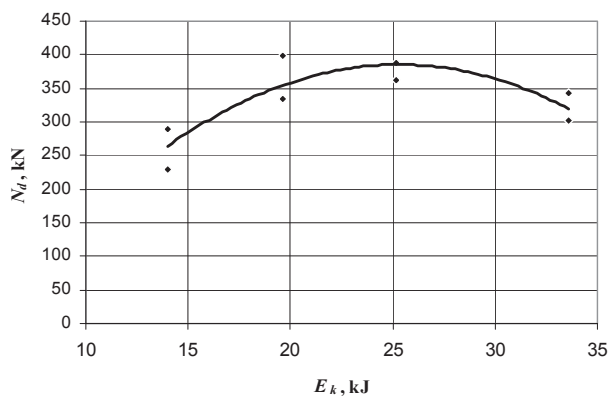
Wysokość spadku masy H , m	Energia kinetyczna uderu E_k kJ	Długość zsuwu z m	Energia całkowita E_c , kJ	Dynamiczna nośność złącza N_d kN	Średnia dynamiczna nośność złącza $N_{d\text{ śr.}}$ kN
1,0	21,5	0,184	34,7	188,5	189,6
		0,181	34,5	190,4	
		0,185	34,7	187,8	
		0,179	34,3	191,7	

Uwaga: masa m_2 trawersy wynosiła 3300 kg.

Tablica 2. Nośność dynamiczna stojaka ciernego typu Valent przy różnych wartościach energii kinetycznej

Wysokość spadku masy H , m	Energia kinetyczna uderu E_k , kJ	Długość zsuwu z , m	Energia całkowita E_c , kJ	Dynamiczna nośność złącza N_d , kN
0,5	14,0	0,080	18,4	230,1
0,5	14,0	0,060	17,3	288,5
0,7	19,6	0,070	23,5	335,2
0,7	19,6	0,057	22,8	399,1
0,9	25,2	0,082	29,7	362,6
0,9	25,2	0,076	29,4	386,9
1,2	33,6	0,117	40,1	342,4
1,2	33,6	0,136	41,1	302,2

Uwaga: masa m_2 trawersy wynosiła 1600 kg.



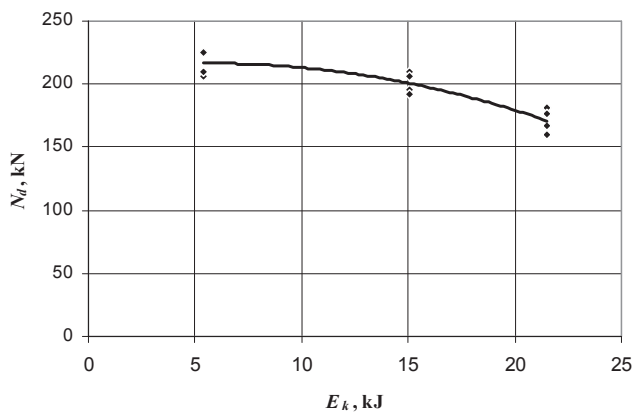
Rys. 2. Nośność dynamiczna N_d stojaka podporowego typu Valent w funkcji energii kinetycznej E_k obciążenia

Fig. 2. Dynamic load capacity N_d of Valent type support prop in a function of kinetic energy E_k of the load

Tablica 3. Nośność dynamiczna złącza kształtowników V29 ze strzemiionami kabłąkowymi przy różnych wartościach energii kinetycznej

Wysokość spadku masy H , m	Energia kinetyczna udaru E_k , kJ	Długość zsuwu z , m	Energia całkowita E_c , kJ	Dynamiczna nośność złącza N_d , kN
0,25	5,4	0,04	8,2	206,0
0,25	5,4	0,035	7,9	225,2
1,00	21,5	0,242	38,8	160,5
1,00	21,5	0,197	35,6	180,8
0,70	15,1	0,109	22,9	209,7
0,70	15,1	0,112	23,1	206,0
0,25	5,4	0,039	8,2	209,4
0,25	5,4	0,035	7,9	225,2
1,00	21,5	0,225	37,6	167,2
1,00	21,5	0,206	36,3	176,0
0,70	15,1	0,122	23,8	195,0
0,70	15,1	0,125	24,0	192,0

Uwaga: masa m_2 trawersy wynosiła 3300 kg.



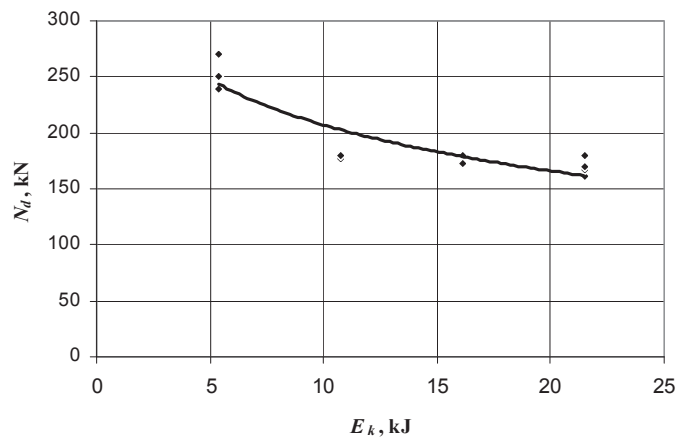
Rys. 3. Nośność dynamiczna N_d złącza ciernego (kształtownik V29, strzemiona kabłąkowe) w funkcji energii kinetycznej E_k obciążenia

Fig. 3. Dynamic load capacity N_d of frictional joint (section V29, bow stirrups) in a function of kinetic energy E_k of the load

Tablica 4. Nośność dynamiczna złącza kształtowników V29 ze strzemiionami typu SD przy różnych wartościach energii kinetycznej

Wysokość spadku masy H , m	Energia kinetyczna udaru E_k , kJ	Długość zsuwu z , m	Energia całkowita E_c , kJ	Dynamiczna nośność złącza N_d , kN
0,25	5,4	0,032	7,7	239,6
0,50	10,8	0,102	18,1	177,0
1,00	21,5	0,24	38,7	161,2
1,00	21,5	0,225	37,6	167,2
0,75	16,1	0,15	26,9	179,1
0,25	5,4	0,027	7,3	270,7
0,25	5,4	0,032	7,7	239,6
0,50	10,8	0,1	17,9	179,1
1,00	21,5	0,22	37,3	169,3
1,00	21,5	0,2	35,8	179,1
0,75	16,1	0,16	27,6	172,4
0,25	5,4	0,03	7,5	250,8

Uwaga: masa m_2 trawersy wynosiła 3300 kg.

**Rys. 4.** Nośność dynamiczna N_d złącza ciernego (kształtownik V29, strzemiona SD) w funkcji energii kinetycznej E_k obciążenia**Fig. 4.** Dynamic load capacity N_d of frictional joint (section V29, stirrups SD) in a function of kinetic energy E_k of the load

PODSUMOWANIE

W artykule omówiono metodykę wyznaczania wartości dynamicznej nośności ciernych złączy stosowanych w stojakach podporowych. Umożliwia ona porównywanie wartości nośności uzyskanych dla różnych typów i wielkości kształtowników typu V, różnych typów strzemiion lub innych rozwiązań złączy ciernych.

Opracowana metodyka może stanowić narzędzie do ustalania kryteriów, jakie powinny spełniać cierne złącza obudów górniczych, przeznaczonych do pracy w wyrobiskach zagrożonych wstrząsami górotworu.

Literatura

1. Ciałkowski B. (1996): Teoretyczne i doświadczalne podstawy konstrukcji złącz obudowy ŁP dla wyrobisk zagrożonych tąpnięciami. Katowice, GIG (Praca doktorska).
2. Pacześniowski K., Pytlik A., Radwańska E. i inni (2005): Wpływ parametrów dynamicznego obciążenia na opór zsuwu ciernych złączy stosowanych w stojakach podporowych. Dokumentacja pracy badawczej GIG o symbolu 110 40805-182 (niepublikowana).
3. PN-91/G-15000/11 – Obudowa chodników odrzwiami podatnymi z kształowników korytkowych. Kształowniki korytkowe proste. Badania złączy.
4. PN-G-15533:1997 – Górnicza obudowa indywidualna. Stojaki cierne. Wymagania i badania.
5. Pytlik A., Pacześniowski K., Radwańska E. i inni (2006): Wyznaczenie odporności dynamicznej konstrukcji elementów górniczej obudowy chodnikowej i zmechanizowanej – Etap 1 i 2. Dokumentacja pracy badawczej GIG o symbolu 110 10466-182, 2006 (niepublikowana).

Recenzent: dr inż. Edward Kowalski