

*Jarosław Brodny**

WSTĘPNA ANALIZA PRACY POŁĄCZENIA ŚRUBOWEGO W ZŁĄCZU CIERNYM

1. Wstęp

Podstawowymi elementami złącza ciernego odrzwi obudowy podatnej są strzemienna. Ich zadaniem jest połączenie konstrukcyjne kształtowników odrzwi i wywieranie odpowiedniego nacisku na współpracujące kształtowniki. Nacisk ten jest wynikiem działania sił osiowych przenoszonych przez śruby strzemion.

W czasie montażu odrzwi obudowy podatnej śruby strzemion dokręcane są wstępnym momentem skręcającym dla uzyskania odpowiedniej siły osiowej ściskającej współpracujące kształtowniki odrzwi. Siły osiowe będące wynikiem działania wstępnego momentu skręcającego nazywamy siłami wstępnymi naciągu. W czasie pracy odrzwi, najczęściej w wyniku oddziaływania górotworu, następuje zmiana wartości sił przenoszonych przez śruby. Siły te nazywamy siłami roboczymi naciągu.

Konstrukcja złącza ciernego oparta jest na wykorzystaniu mechanizmu śrubowego jako zasadniczego elementu przenoszącego siły dociskające kształtowniki. W fazie montażu siły te są wynikiem działania momentu obrotowego (skręcającego) działającego na nakrętkę. W czasie pracy siły te są dodatkowo wynikiem wymuszeń zewnętrznych działających na złącze cierne i powodujących rozciąganie lub ściskanie jarzm strzemion.

W artykule zostały przedstawione wyniki badań stanowiskowych oraz analiz numerycznych złączy ciernych przy osiowym ściskaniu i statycznym zginaniu zgodnie z normami [4, 5]. W czasie tych badań wyznaczane były siły osiowe działające w śrubach złącza ciernego. W artykule dokonano też analiza pracy mechanizmu śrubowego oraz wyznaczono zależności siły osiowej w śrubie w funkcji współczynnika tarcia dla śruby M24.

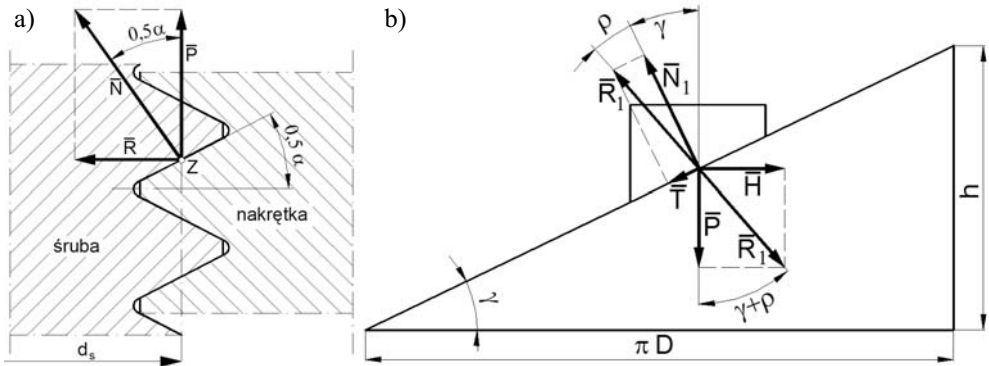
* Instytut Mechanizacji Górnictwa, Wydział Górnictwa i Geologii, Politechnika Śląska, Gliwice

2. Zasada działania mechanizmu śrubowego

Zasada działania mechanizmu śrubowego polega na zamianie momentu dokręcenia nakrętki na siłę osiową działającą wzdłuż śruby.

Przy założonym momencie skręcającym (dokręcenia), o wartości siły wzdłużnej dociskającej współpracujące jarzma decyduje kąt wzniosu linii śrubowej γ oraz kąt rozwarcia gwintu metrycznego α [3].

Na rysunku 1 zostały przedstawione rozkłady sił działających między śrubą i nakrętką w mechanizmie śrubowym oraz schemat śruby jako maszyny prostej.



Rys. 1. Rozkład sił w połączeniu śrubowym
a) gwint metryczny, b) śruba jako maszyna prosta

Moment dokręcenia złącza śrubowego oprócz wywołania napięcia wstępnego w śrubie musi pokonać siły tarcia w gwincie oraz siły tarcia pomiędzy nakrętką a kołnierzem strzemiona. Moment ten rozkłada się na dwa momenty:

$$M_d = M_s + M_n \quad (1)$$

gdzie:

M_s — moment tarcia w gwincie,

M_n — moment tarcia pomiędzy nakrętką a kołnierzem strzemiona.

Po podstawieniu danych do zależności (1) wyznaczamy siłę osiową P w śrubie:

$$P = \frac{2M_d}{d_s \tan(\gamma + \rho') + 0,5(d + D_s)\mu_n} \quad (2)$$

gdzie:

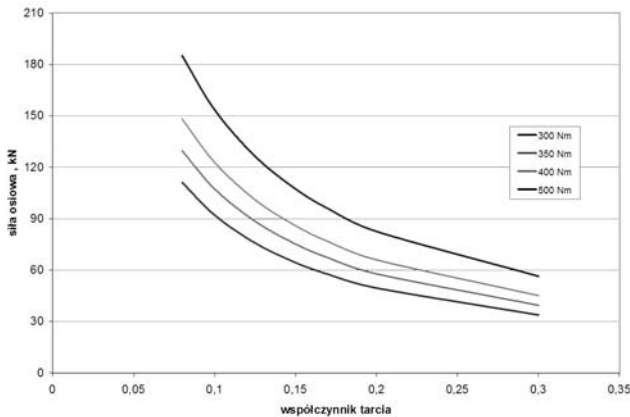
P — siła osiowa w śrubie,

d_s — średnica podziałowa gwintu śruby,

- D_k — tzw. średnica pod klucz,
- d — średnica nominalna śruby,
- μ_n — współczynnik tarcia pomiędzy nakrętką a powierzchnią kołnierza,
- γ — kąt wzniosu linii śrubowej,
- σ' — pozorny kąt tarcia.

Podstawiając do zależności (2) dane śruby M24 stosowanej w strzemiach SDO 29 oraz moment dokręcenia równy 350 Nm obliczymy wartość siły osiowej w śrubie, która wynosi $P = 69,2$ kN.

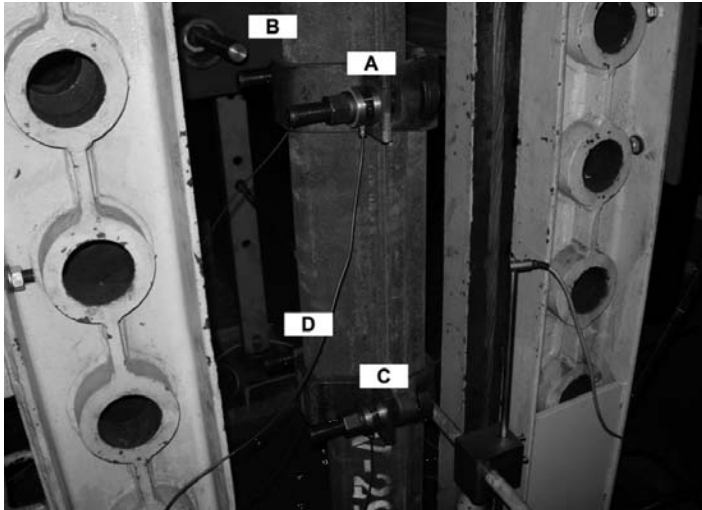
Na rysunku 2 przedstawione zostały zależności pomiędzy współczynnikiem tarcia w gwincie a wartością siły osiowej w śrubie dla różnych momentów dokręcenia śruby w złączu. Do obliczeń przyjęto takie same wartości współczynników tarcia dla gwintu i między nakrętką a powierzchnią kołnierza.



Rys. 2. Zależność siły osiowej w śrubie od współczynnika tarcia dla różnych wartości momentu dokręcenia nakrętki

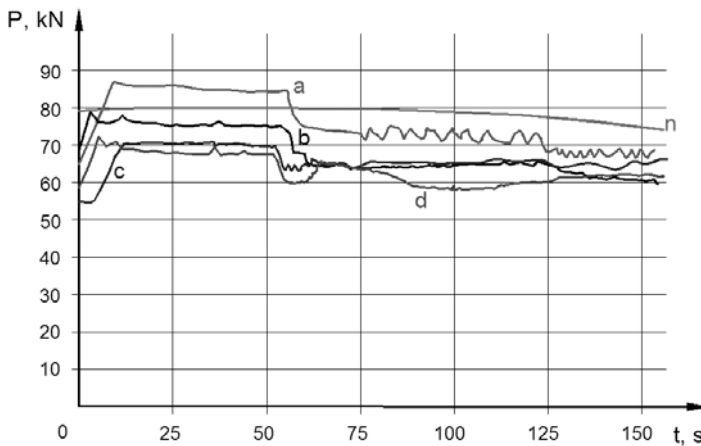
3. Wyznaczanie sił w śrubach strzemiem przy osiowym ściskaniu złącza ciernego

W czasie próby osiowego ściskania złącza ciernego na śruby strzemiem zamocowane zostały czujniki siły. Na rysunku 3 przedstawiono sposób zamocowania czujników. Badania stanowiskowe zostały przeprowadzone dla złącza ciernego łączącego dwa kształtowniki V 29 strzemiemami SDO 29. Moment dokręcenia śrub w strzemiemach wynosił 350 Nm. Założono, że powierzchnie kołnierzy są równoległe. W badaniach nie uwzględniano momentów zginających działających na śruby a będących wynikiem działania sił tarcia pomiędzy jarzmami a kształtownikami. Momenty te pojawiają się w wyniku zadziałania siły wzdłużnej i zależne są od wartości współczynnika tarcia pomiędzy elementami strzemiem oraz siły dokręcenia wstępnego śrub (siła docisku).



Rys. 3. Sposób zamocowanie czujników śrubowych przy osiowym ściskaniu złącza ciernego

Próba ściskania została przeprowadzona zgodnie z normą PN-91/G-15000/11. W czasie badania rejestrowane były siły we wszystkich czterech śrubach złącza (rys. 3). Uzyskane wyniki przedstawiono na wykresie na rysunku 4, gdzie śruby zostały oznaczone literami a, b, c oraz d.



Rys. 4. Wykresy zmiany sił w śrubach złącza ciernego przy statycznym ściskaniu.
n — na podstawie analizy numerycznej, a, b, c, d — na podstawie badań stanowiskowych

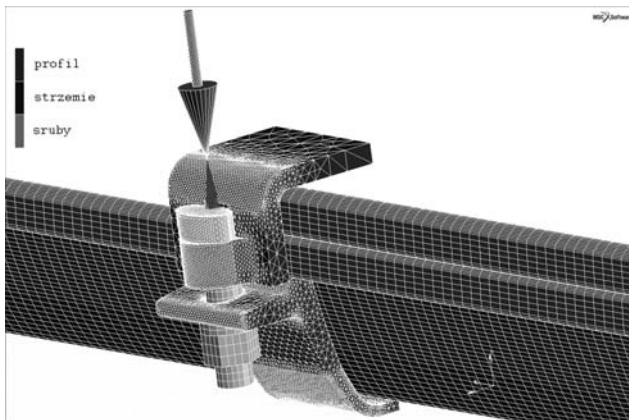
W oparciu o schemat z rysunku 3 został opracowany model numeryczny złącza ciernego. W wyniku przeprowadzonej analizy metodą elementów skończonych wyznaczone zostały siły w poszczególnych śrubach złącza. Osiowa siła wstępna w śrubach została ustalona na podstawie pomiaru sił w śrubach złącza przy wstępnym dokręceniu ich momentem skręcają-

cym wynoszącym 350 Nm. Siła ta wynosiła od 72 kN do 86 kN, co odpowiada współczynnikowi tarcia ok. 0,14–0,16 (zgodnie z rys. 2). Do obliczeń przyjęta została wartość wstępnej siły osiowej wynosząca 80 kN. Na rysunku 4 został przedstawiony wykres zmiany sił w śrubach w funkcji czasu uzyskany na podstawie tej analizy (uśredniony i oznaczony n).

4. Wyznaczanie sił w śrubach strzemiion przy statycznym zginaniu złącza ciernego

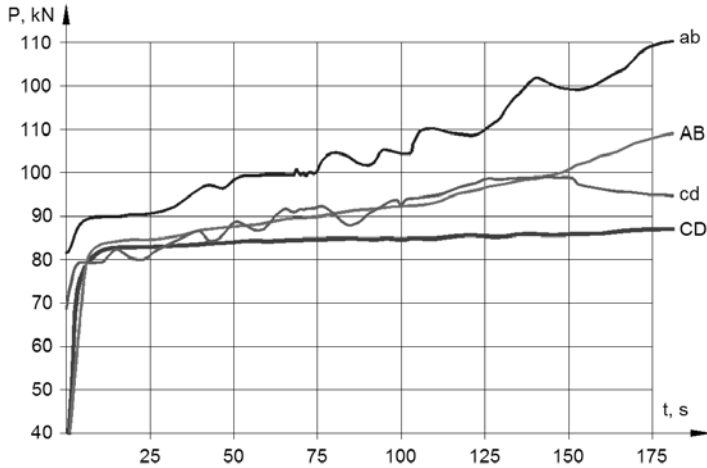
Próby statycznego zginania złącza ciernego przeprowadza się zgodnie z PN-91/G-15000/11 oraz niemiecką normą DIN 21530-4-2003-05. Rozpatrzone zostały dwa układy badawcze wynikające z różnego sposobu obciążenia złącza. W pierwszym przypadku kształtowniki zostały obciążone w dwóch płaszczyznach poprzez trawersę o dużej sztywności [5]. W drugim przypadku kształtowniki zostały obciążone siłą działającą bezpośrednio symetrycznie pomiędzy strzemiionami złącza [4]. W obu przypadkach zastosowane zostały strzemiiona SDO 29 ze śrubami M24.

Celem przeprowadzonych badań było wyznaczenie zmian wartości sił w śrubach strzemiion w czasie statycznego zginania złącza ciernego. Przy badaniach stanowiskowych nakrętki zostały dokręcone momentem skręcającym równym 350 Nm. Do analizy numerycznej przyjęto siłę wstępną w śrubie równą 80 kN. Na rysunku 5 został przedstawiony model dyskretny złącza ciernego z zamodelowanymi siłami wstępnymi w śrubach strzemiion.

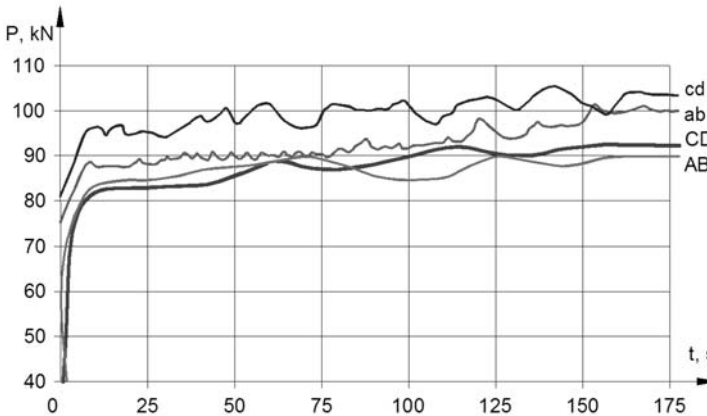


Rys. 5. Model złącza ciernego z wstępną siłą w śrubie strzemiiona

Na podstawie przeprowadzonych badań stanowiskowych oraz analiz numerycznych wyznaczono charakterystyki zmian sił w śrubach strzemiion złącza ciernego. Na rysunku 6 zostały przedstawione wykresy zmian tych sił w przypadku statycznego zginania złącza zgodnie z [4], a na rysunku 7 w przypadku zginania zgodnie z [5]. Na obu rysunkach przedstawione zostały wykresy uzyskane zarówno w wyniku badań stanowiskowych (AB, CD), jak i analizy numerycznej (ab, cd).



Rys. 6. Wykresy zmiany sił w śrubach złącza ciernego przy statycznym zginaniu wg [4]



Rys. 7. Wykresy zmiany sił w śrubach złącza ciernego przy statycznym zginaniu wg [5]

5. Podsumowanie

Obserwacje ruchowe wykazują że w wyniku wystąpieniu zsuwu w odrzwiach obudowy obserwuje się proces luzowania się nakrętek w śrubach strzemion. Jacobi [2] zauważył zjawisko luzowania się nakrętek śrub po pierwszym zsuwie elementów złącza. W celu utrzymania stałej siły docisku zaproponował dokręcania śrub po każdym zsuwie. Także przy badaniach stanowiskowych przy osiowym ściskaniu złącza ciernego obserwuje się zjawisko zmniejszania się sił docisku kształtowników w wyniku zmniejszenia się sił w śrubach [1].

W niniejszym artykule przedstawione zostały wyniki badań stanowiskowych i analiz numerycznych, których celem było wyznaczenie charakterystyk zmian sił osiowych w śru-

bach strzemion pracujących w złączach ciernych stalowej odrzwiowej obudowy górniczej. Otrzymane wyniki potwierdzają wnioski z prac [1, 2].

Charakterystyki zmian sił osiowych w śrubach zostały wyznaczone dla trzech przypadków, przy ściskaniu osiowym złącza oraz przy zginaniu złącza zgodnie z [4, 5]. Otrzymane wyniki badań doświadczalnych i analizy numerycznej wykazują dużą zgodność w zakresie jakościowym i ilościowym.

Przy osiowym ściskaniu złącza ciernego po pierwszym zsuwie następuje znaczne zmniejszenie sił w śrubach. Zmniejszenia te mogą osiągać wartość nawet około 30% siły wstępnej. Jest to bardzo niekorzystne zjawisko. Potwierdza to wcześniejsze wyniki obserwacji ruchowych. W celu zapewnienia odpowiednich warunków pracy obecnie stosowanych złączy ciernych konieczne jest dokręcanie śrub po wystąpieniu zsuwu. Występuje także zjawisko niesymetrycznego obciążania śrub w złączu. Jest to wynikiem dużej wrażliwości połączenia śrubowego na zmianę współczynnika tarcia w połączeniu gwintowym, jak i na różnego typu odchyłki wykonania i montażu złączy.

Przy zginaniu złączy ciernych należy podkreślić dużą niesymetrię obciążenia poszczególnych śrub złącza. Przy zginaniu nie występuje luzowanie śrub. Siły w śrubach rosną. Zmniejszony jest wpływ odchyłek wymiarowych elementów odrzwi na wartości sił w śrubach.

Należy zaznaczyć, że przeprowadzone badania zastały wykonane na prostych odcinkach kształtowników. W warunkach rzeczywistych mamy do czynienia ze złączami ciernymi pracującymi na powierzchniach łukowych kształtowników. Powoduje to, iż w śrubach oraz strzemionach występuje złożony stan naprężenia. Oprócz sił osiowych występują także momenty zginające oraz siły ścinające. Strzemiona natomiast przenoszą dodatkowo obciążenia pochodzące od momentów zginających, a także momentów skręcających działających na kształtowniki. Wpływa to na znaczne zróżnicowanie stanu naprężenia w strzemionach i wartości sił działających w śrubach.

LITERATURA

- [1] *Brodny J., Gluch P.*: Wyznaczanie charakterystyki pracy złącza ciernego. XVII Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna „TEMAG 2009”. Gliwice 2009
- [2] *Jacobi O.*: Praxis der Gebirgsbeherrschung. Auflage, Verlag Glückauf GmbH. Essen 1981
- [3] *Korewa Z.*: Podstawy Konstrukcji Maszyn. Wydawnictwo WNT. Warszawa 1965
- [4] Deutsche Norm, DIN 21530-4-2003-05, Ausbau für den Bergbau
- [5] PN-91/G-15000/11, Obudowa chodników odrzwiami podatnymi z kształtowników korytkowych. Kształtowniki korytkowe proste. Badanie złączy