

6

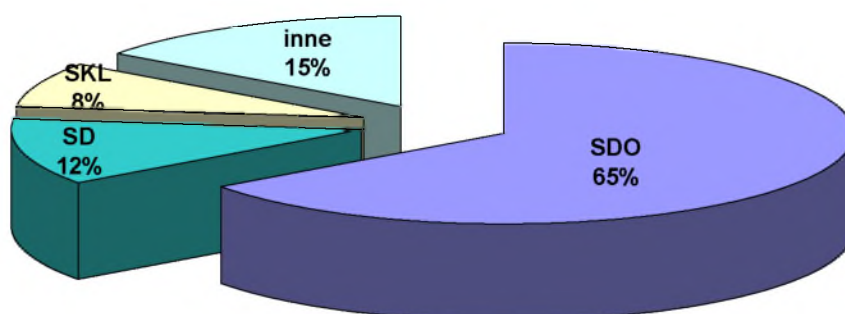
ANALIZA WPŁYWU STRZEMION NA PRACĘ ZŁĄCZA CIERNEGO

6.1 WPROWADZENIE

Głównym zadaniem strzemion w złączu ciernym jest zapewnienie odpowiedniej siły docisku między współpracującymi kształtownikami. Siła ta decyduje o parametrach pracy złącza ciernego, a w dalszej kolejności stojaków ciernych i odrzwi stanowiących podstawowe elementy konstrukcji podporowej górniczej obudowy wyrobisk korytarzowych. Strzemiona mają więc bardzo istotny wpływ na parametry pracy tej obudowy. Prawidłowa konstrukcja oraz poprawne wykonanie i montaż strzemion mogą w sposób istotny wpłynąć na poprawę parametrów pracy złączy ciernych oraz bezpieczeństwa pracy w wyrobiskach korytarzowych zabezpieczanych obudową podatną [2, 3].

W ostatnich kilkunastu latach powstało wiele konstrukcji strzemion, z których szerokie praktyczne zastosowanie znalazły dwa typy: kabłąkowe i dwujarzmowe [4, 5].

Obecnie najczęściej są stosowane strzemiona dwujarzmowe typu SDO i SD, stanowiące w sumie około 77% ogólnej liczby nowo montowanych strzemion (rys. 6.1). W pozostałych przypadkach są stosowane inne rodzaje strzemion, to jest strzemiona kabłąkowe typu SKL oraz KX, w których jarzma są wykonane z żeliwa, oraz strzemiona kabłąkowe typu KXW, w których jarzma są wykonane ze stali. W strzemionach tych kabłąki są wykonane ze stali.



Rys. 6.1 Rodzaje strzemion stosowanych w 2011 roku

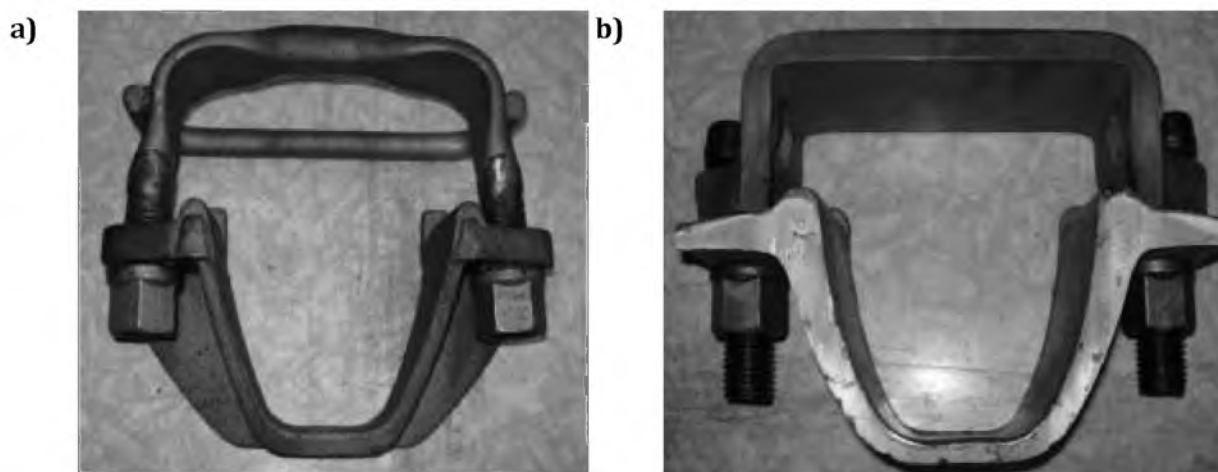
Na rysunku 6.2 przedstawiono dwa najczęściej stosowane obecnie strzemiona, a mianowicie: strzemie kabłąkowe typu SKL29 (rys. 6.2a), w którym jarzmo jest wykonane z żeliwa oraz strzemie dwujarzmowe typu SDO29 (rys. 6.2b) wykonane ze stali S480W.

W oparciu o informacje pozyskane od użytkowników obudowy podatnej wyrobisk korytarzowych można stwierdzić, że złącza cierne z obecnie stosowanymi strzemionami nie

zapewniają optymalnego wykorzystania parametrów wytrzymałościowych kształtowników, z jakich wykonane są odrzwia i stojaki cierne oraz są źródłem niestabilnej pracy obudowy [3].

Na podstawie analizy literatury oraz uwzględniając informacje i opinie uzyskane od użytkowników strzemion ustalono, że głównymi problemami związanymi z ich eksploatacją są:

- zbyt duże wartości momentu dokręcenia nakrętek śrub powodujące usztywnienie złączy ciernych,
- zbyt małe wartości momentu dokręcenia nakrętek śrub, co powoduje brak odpowiedniej nośności i zbyt szybkie zsuwy w złączach ciernych,
- duża odkształcalność kołnierzy strzemion typu SDO,
- zbyt duża sztywność jarzm dolnych strzemion typu SKL,
- duże deformacje śrub strzemion będące wynikiem działania momentów zginających i deformacji jarzm strzemion,
- znaczne zmniejszenie nośności odrzwi po wystąpieniu zsuwu,
- duży ciężar strzemion SDO,
- różne typy strzemion znajdujące się na rynku, dla których brak jednoznacznych badań porównawczych,
- zbyt duże odchyłki geometryczne elementów strzemion (szczególnie typu SDO).



Rys. 6.2 Rodzaje strzemion:
a) strzemię kabłąkowe SKL29, b) strzemię jarzmowe SDO29

Informacje te wykazały także, że niestabilna praca złączy ciernych powoduje, iż w wielu przypadkach obudowa podatna wyrobisk korytarzowych nie spełnia swojej funkcji w zakresie zabezpieczenia tych wyrobisk. Jednocześnie w ocenie użytkowników obudowy podatnej wyrobisk korytarzowych strzemiona są zdecydowanie najsłabszym jej ogniwem.

Mając na uwadze zadanie, jakie w złączu ciernym pełnią strzemiona oraz problemy związane z ich eksploatacją, w celu oceny ich pracy oraz roli w złączu ciernym przeprowadzono badania stanowiskowe, które swoim zakresem objęły jarzma strzemion oraz całe strzemiona kabłąkowe i jarzmowe.

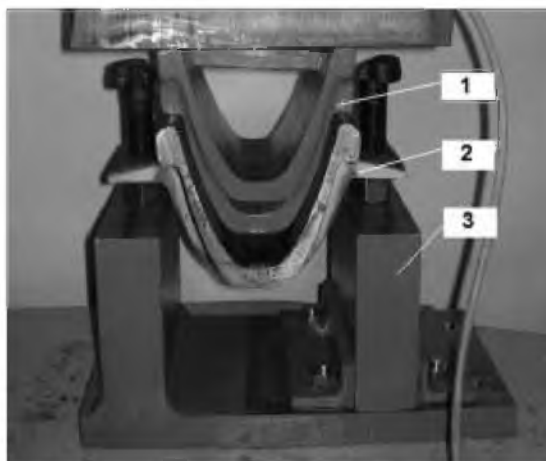
Celem badań było wyznaczenie charakterystyk pracy strzemion oraz ich jarzm i na tej podstawie określenie wartości obciążeń, przy których dochodzi do ich trwałego odkształcenia

oraz zniszczenia. Założono, że stan deformacji strzemion ma bardzo istotny wpływ na wartość siły, z jaką są dociskane współpracujące w złączu ciernym kształtowniki, co bezpośrednio przekłada się na parametry pracy złącza ciernego. Potwierdziły to zgłaszane przez użytkowników obudowy podatnej uwagi o nadmiernym odkształcaniu kołnierzy jarzm i kabłąków strzemion, a także wyniki analizy pracy połączenia gwintowego [1, 3].

6.2 BADANIA JARZM STRZEMION

Celem badań stanowiskowych jarzm strzemion było określenie wartości obciążenia przenoszonego przez jarzmo, przy którym dochodzi do jego trwałej deformacji lub zniszczenia.

Badania przeprowadzono na maszynie wytrzymałościowej z wykorzystaniem zaprojektowanego i wykonanego specjalnego przyrządu, którego widok wraz z zamontowanym jarzmem dolnym strzemienia SDO29 przedstawiono na rys. 6.3.



Rys. 6.3 Badanie jarzma dolnego strzemienia SDO29 na zginanie:
1 – obciążnik przyrządu, 2 – badane jarzmo, 3 – podstawa przyrządu

Badania polegały na zginaniu jarzma (2) siłą działającą symetrycznie względem niego poprzez specjalny obciążnik (1). W trakcie badań rejestrowano wartość siły, z jaką obciążano jarzmo oraz wartość przemieszczenia uchwytu górnego maszyny wytrzymałościowej, która odpowiadała przemieszczeniu kołnierzy jarzma.



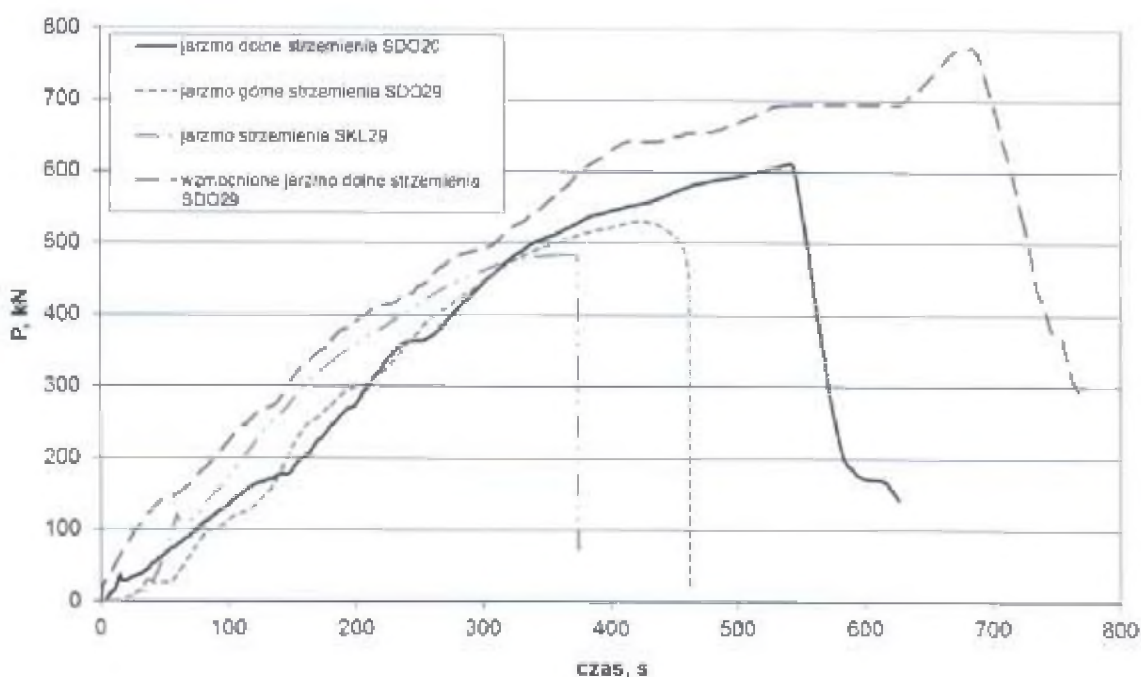
Rys. 6.4 Jarzmo dolne strzemienia SKL29 po próbie zginania

Badaniom poddano jarzma dolne i górne strzemienia SDO29, jarzmo dolne strzemienia SKL29 (rys. 6.4) oraz wzmocnioną konstrukcję jarzma dolnego strzemienia SDO29 (rys. 6.5).



Rys. 6.5 Wzmocniona konstrukcja jarzma dolnego strzemienia SDO29 w trakcie badania

W wyniku badań wyznaczono charakterystyki pracy tych jarzm, określające czasowe zmiany wartości siły obciążającej jarzmo do momentu jego zniszczenia (rys. 6.6).



Rys. 6.6 Charakterystyki pracy jarzm strzemion

Analizując uzyskane wyniki można stwierdzić, że najwyższą wytrzymałość na zginanie posiada wzmocnione jarzmo dolne strzemienia SDO29. Jest to jednak konstrukcja prototypowa nie stosowana w praktyce. Natomiast spośród obecnie stosowanych konstrukcji strzemion najwyższą wytrzymałość na zginanie posiada jarzmo dolne strzemienia SDO29, natomiast najniższą jarzmo strzemienia SKL29 wykonane z żeliwa.

Zakładając symetryczne obciążenie jarzm strzemion, można przyjąć, że aby doszło do ich zniszczenia, na każdy z kołnierzy jarzm musi działać siła o wartości około 240 kN. Można

więc stwierdzić, że wartości sił, przy których doszło do zniszczenia badanych jarzm, są wysokie i w zakresie obciążeń, jakie są rejestrowane w śrubach strzemion złączy ciernych [1, 2], jarzma te nie powinny ulec zniszczeniu w czasie eksploatacji. Duże wątpliwości budzi natomiast stan deformacji jarzm, który bezpośrednio przekłada się na stan obciążenia śrub. Spośród badanych jarzm tylko wzmocniona konstrukcja jarzma dolnego strzemienia SDO29 wykazywała odpowiednią sztywność w zakresie przewidywanych wartości obciążenia.

Na podstawie uzyskanych wyników można także stwierdzić, że badania poszczególnych elementów strzemion nie uwzględniają wzajemnego ich oddziaływania, jakie ma miejsce w przypadku badania całych strzemion lub złączy ciernych. Z tego względu wyniki te należy traktować jako wstępne i porównawcze w stosunku do wyników uzyskanych z badania całych strzemion oraz złączy ciernych.

6.3. BADANIA STANOWISKOWE STRZEMION

Oprócz badań jarzm strzemion, na podstawie których można określić ich parametry wytrzymałościowe, bardzo istotne znaczenia ma badanie całych strzemion, które stwarza możliwość także analizy współpracy tych elementów.

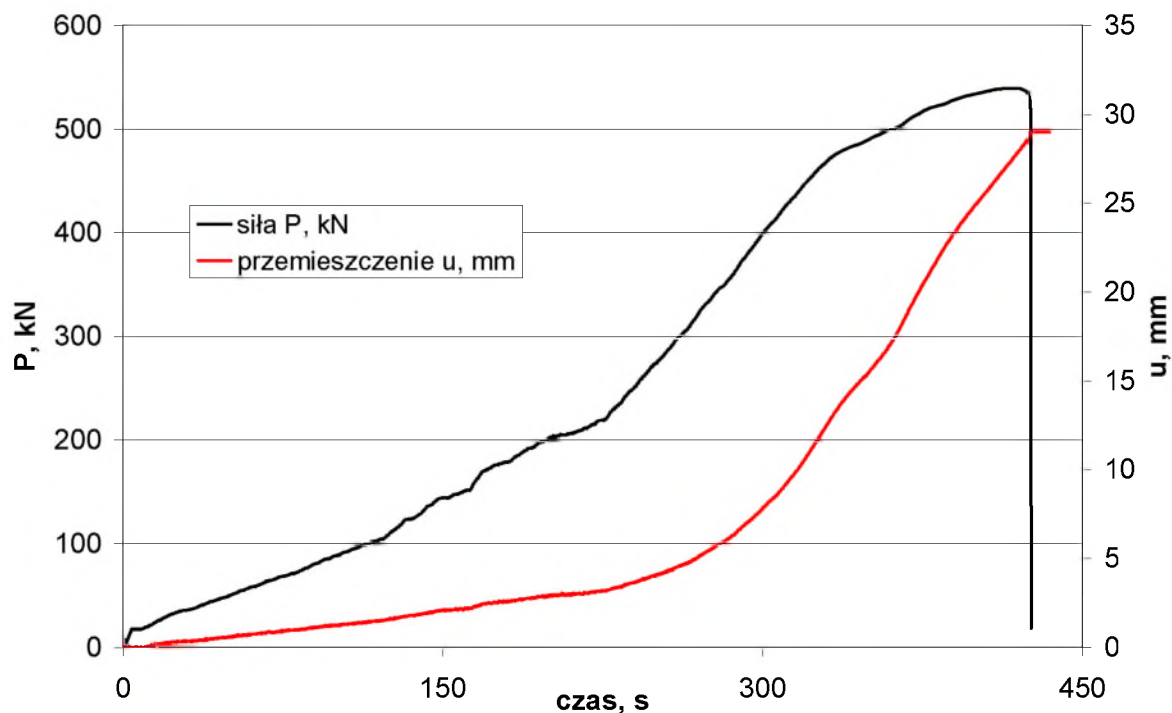
Badania strzemion przeprowadzono na maszynie wytrzymałościowej z wykorzystaniem specjalistycznego przyrządu zaprojektowanego przez autora. Zastosowanie tego przyrządu umożliwiło wyznaczenie charakterystyki pracy strzemienia obciążonego siłą rozciągającą. Widok przyrządu wraz z zamontowanym strzemieniem SDO29 przedstawiono na rys. 6.7

Celem badań było wyznaczenie charakterystyk pracy strzemion, określających zmianę wartości siły przenoszonej przez rozciągane strzemie do momentu jego zniszczenia lub takiego stanu deformacji, który uniemożliwiał dalszą jego pracę. W trakcie badania wyznaczano także wydłużenia strzemion, których miarą było przemieszczenie pionowe tłoka maszyny wytrzymałościowej.



Rys. 6.7 Przyrząd do badania strzemion na rozciąganie z zamontowanym strzemieniem SDO29

Na rys. 6.8 przedstawiono charakterystykę pracy strzemienia SDO29 wykonanego ze stali S480W oraz zmianę wartości jego przemieszczenia (u), a na rys. 6.9 widok tego strzemienia po badaniu.



Rys. 6.8 Charakterystyka pracy strzemia SDO29

Analizując uzyskane przebiegi, można stwierdzić, że maksymalna wartość siły, jaką przeniosło strzemię SDO29, wyniosła 539 kN, natomiast proces jego odkształcenia plastycznego rozpoczął się przy wartości siły obciążającej wynoszącej około 280 kN. Zakładając równomierne obciążenie kołnierzy jarzm tego strzemia, można przyjąć, że przy obciążeniu rozciągającym wynoszącym około 140 kN rozpoczyna się proces trwałej deformacji kołnierzy jego jarzma dolnego.



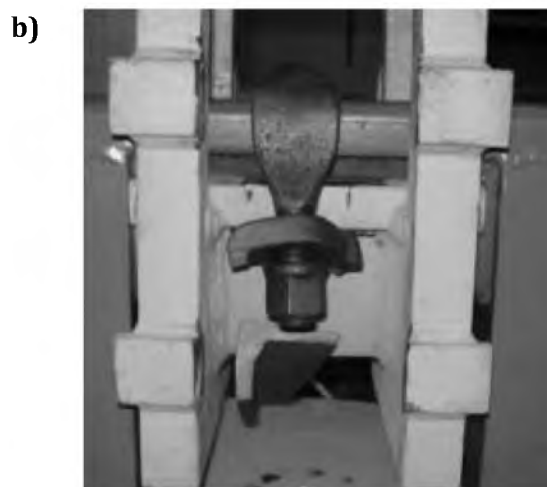
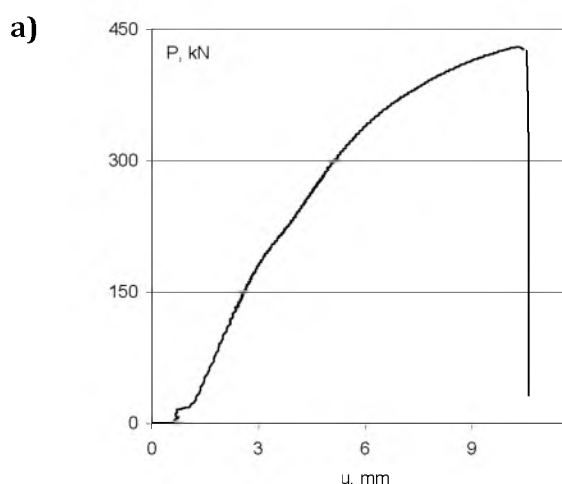
Rys. 6.9 Widok strzemia SDO29 po badaniu na rozciąganie

Informacja ta jest bardzo istotna przy ustalaniu wstępnych wartości sił osiowych w śrubach strzemion. Można przyjąć, że dla złącza ciernego ze strzemionami SDO29

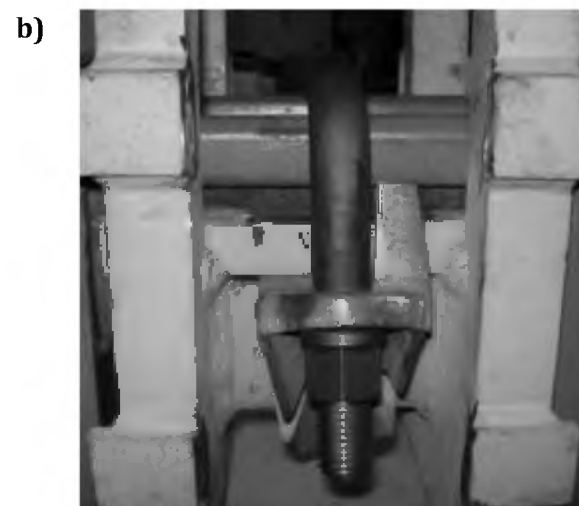
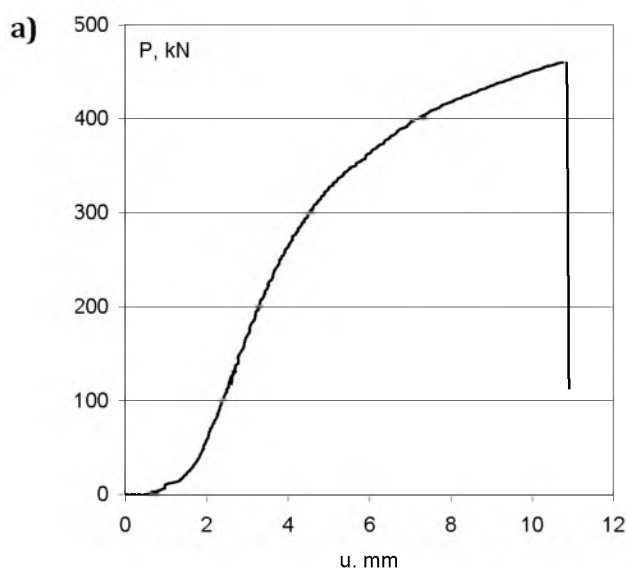
wykonanymi ze stali S480W wartość wstępnej siły osiowej w śrubie strzemia nie powinna przekroczyć 140 kN. Powyżej tej wartości nastąpi proces trwałej deformacji kołnierzy jarzma dolnego strzemia powodujący mimośrodowe obciążenie śrub.

Oprócz strzemion SDO29 badaniom poddano strzemia SKL29, KX29 i KX29W, dla których charakterystyki pracy oraz ich widoki po badaniu przedstawiono na rysunkach 6.9, 6.10 i 6.11. W prezentowanych przykładach charakterystyka pracy strzemia określa zmianę wartości siły (P) działającej na strzemię w funkcji jego przemieszczenia (u).

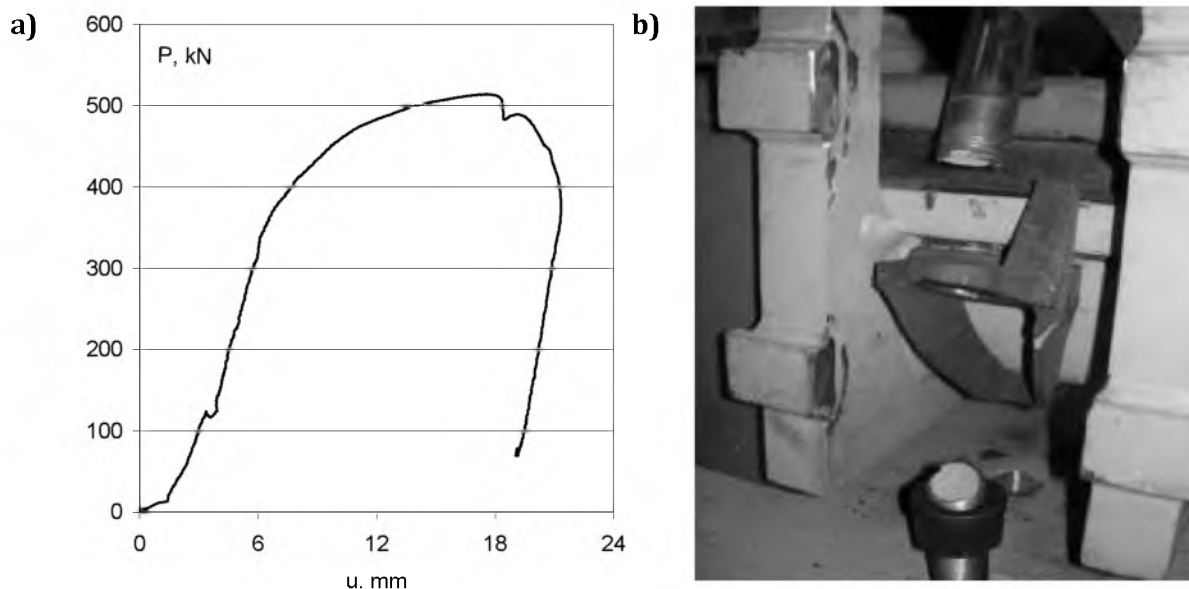
Na rys. 6.13 przedstawiono wyniki badania na rozciąganie wzmocnionej konstrukcji strzemia SDO29, jako rozwiązania prototypowego. W tym przypadku przebiegi zmian wartości siły przenoszonej przez strzemię oraz jego odkształcenia ujęto w funkcji czasu obciążenia.



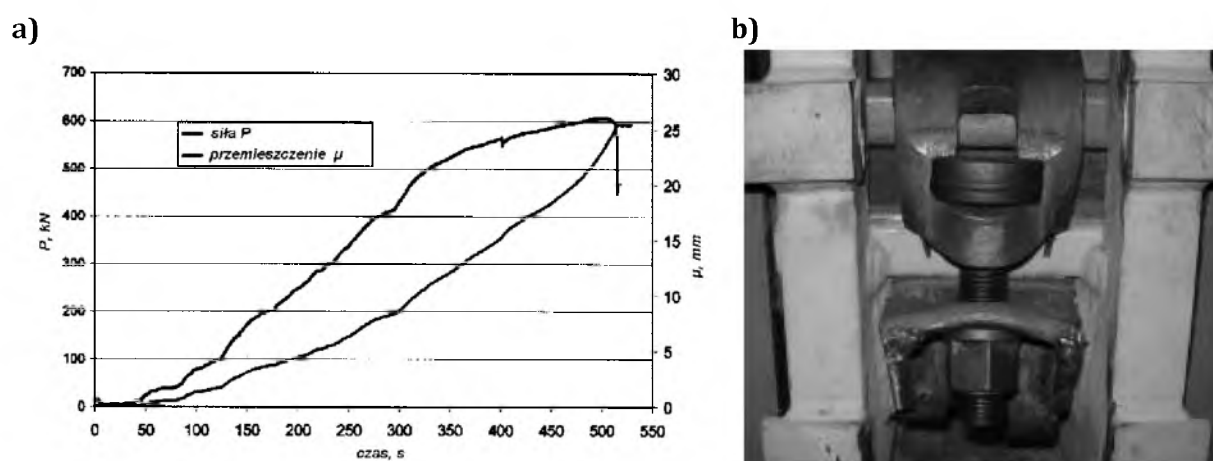
Rys. 6.10 Badanie strzemia SKL29:
a) charakterystyka pracy, b) widok po badaniu



Rys. 6.11 Badanie strzemia KX29:
a) charakterystyka pracy, b) widok po badaniu



Rys. 6.12 Badanie strzemienia KX29W:
a) charakterystyka pracy, b) widok po badaniu



Rys. 6.13 Badanie wzmocnionego strzemienia SDO29:
a) charakterystyka pracy, b) widok po badaniu

Analizując uzyskane charakterystyki, można stwierdzić, że największe obciążenie wynoszące 609 kN przeniosło wzmocnione strzemie SDO29 (rys. 6.13). Wartość siły, przy której następuje trwałe odkształcenie elementów tego strzemienia, jest najwyższa spośród badanych i wynosi około 512 kN.

Wysokie obciążenie wynoszące 512 kN przeniosło strzemie kabłąkowe KX29W, którego jarzmo dolne wykonane jest ze staliwa. Również wartość siły, przy której następuje trwałe odkształcenie elementów tego strzemienia, jest wysoka i wynosi około 450 kN.

W strzemionach typu SKL29 i KX29, których jarzma dolne są wykonane z żeliwa, zanotowano niższe wartości sił, przy których doszło do ich zniszczenia. W strzemionach tych wystąpiły mniejsze odkształcenia, które objęły ich kabłąki. Zniszczeniu uległy natomiast ich żeliwne jarzma.

Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że charakterystyki pracy

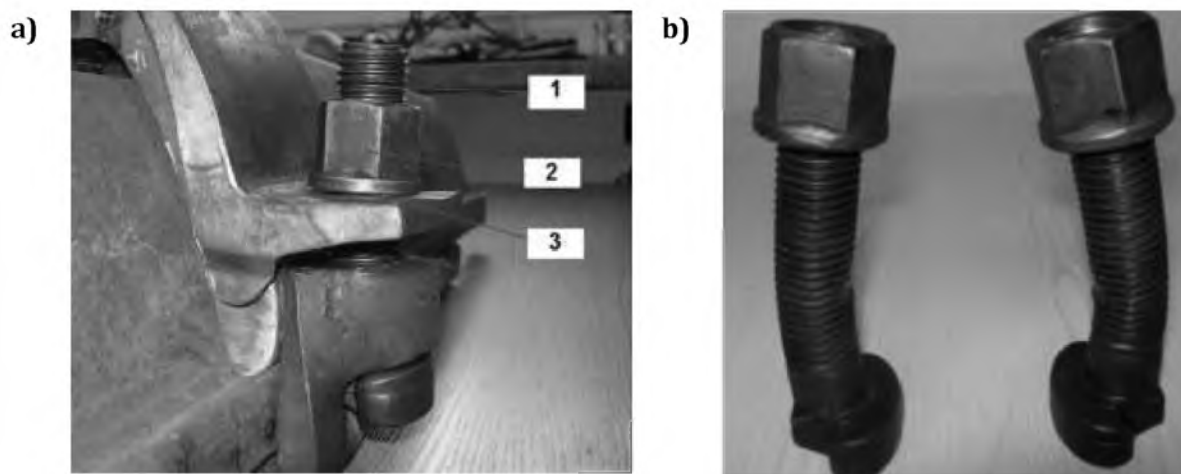
strzemion oraz proces ich zniszczenia są uzależnione w istotnym stopniu od materiału, z jakiego je wykonano oraz od ich kształtu. W szczególności świadczy o tym charakterystyka pracy wzmocnionego strzemienia SDO29. Zwiększenie sztywności kołnierzy poprzez wprowadzenie bocznych wzmocnień znacznie poprawiło parametry pracy tego strzemienia.

Z punktu widzenia pracy złącza ciernego najkorzystniejszymi parametrami pracy spośród obecnie stosowanych strzemion charakteryzuje się strzemię KX29W, które uległo zniszczeniu przy najwyższym obciążeniu zewnętrznym. Również proces trwałej deformacji tego strzemienia rozpoczyna się przy wysokich wartościach obciążenia, co umożliwia uzyskanie wysokich wartości wstępnych sił osiowych w jego śrubach.

W przypadku najczęściej obecnie stosowanych strzemion typu SDO maksymalna wartość obciążenia, przy której doszło do jego zniszczenia, jest również wysoka, natomiast przy niższych wartościach obciążenia dochodzi do trwałej deformacji jarzma dolnego tego strzemienia. Wydaje się jednak, że zarejestrowane wartości tego obciążenia w praktyce są wystarczające, aby zapewnić odpowiednią wartość siły docisku współpracujących w złączu ciernym kształtowników.

6.4 WPLYW STRZEMION NA PARAMETRY PRACY ZŁĄCZA CIERNEGO

Analizując uzyskane wyniki badań strzemion oraz ich jarzm można stwierdzić, że stosowane obecnie strzemiona nie do końca spełniają swoją funkcję w złączach ciernych. Uzyskane wyniki jednoznacznie wskazują, że w konstrukcjach tych bardzo trudno jest zapewnić osiowe obciążenie śrub.



Rys. 6.14 Stan deformacji strzemienia i śrub w złączu ciernym po montażu

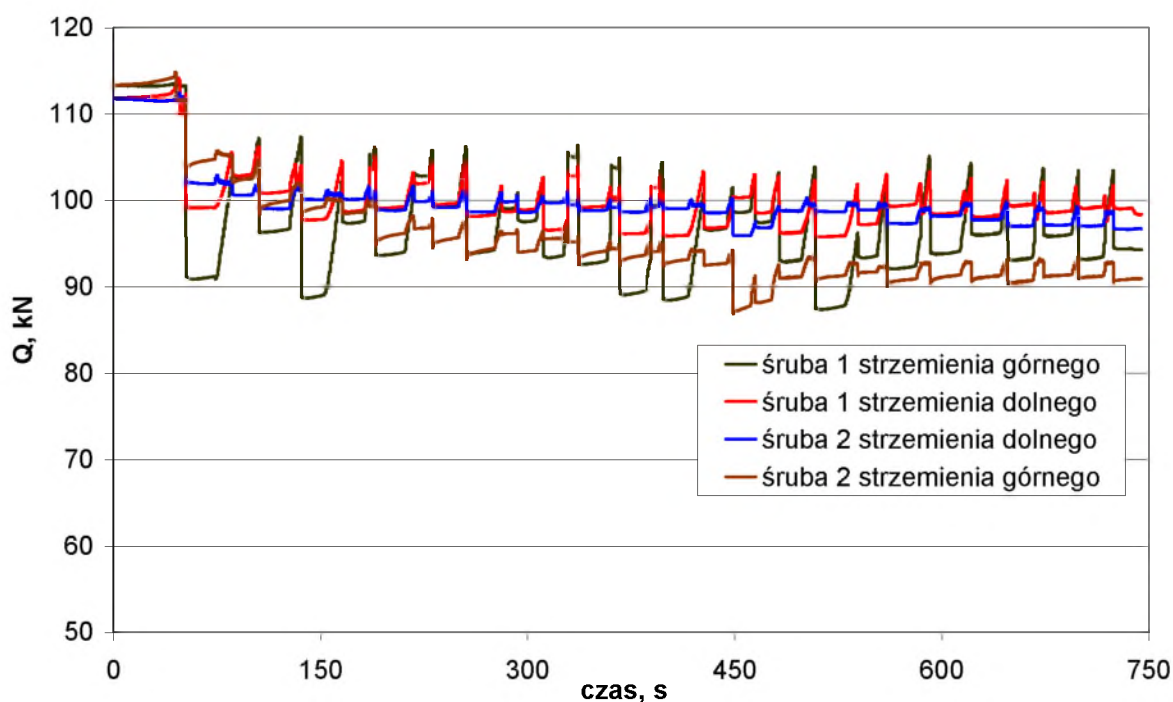
Na rys. 6.14 przedstawiono stan deformacji strzemienia SDO29 oraz jego śrub w złączu ciernym po montażu, w którym śruby dokręcono momentem 450 Nm, a na rys. 6.15 widoki jarzm dolnych strzemienia SDO29 przed i po badaniu. W jarzmie dolnym (3) strzemienia górnego (rys. 6.14a) nastąpiła deformacja kołnierza, która spowodowała, że powierzchnia oporowa nakrętki (2) śruby (1) nie jest równoległa do powierzchni oporowej kołnierza jarzma. Konsekwencją tego stanu jest pojawienie się w śrubie (1) oprócz siły rozciągającej także momentu zginającego. Zjawisko deformacji kołnierzy jarzm strzemion oraz ich ścian

bocznych (rys. 6.15) jest bardzo niekorzystne i wywołuje w śrubie złożony stan naprężenia powodujący jej zginanie (rys. 6.14b). Proces ten negatywnie wpływa na pracę śrub, a w dalszej kolejności stanowi jedną z przyczyn niestabilnej pracy złączy ciernych [6, 7].



Rys. 6.15 Widoki jarzm dolnych strzemia SDO29 przed i po badaniu

Stan obciążenia śrub strzemion ma bowiem fundamentalne znaczenie dla pracy złącza ciernego, o czym świadczą przedstawione na rys. 6.16 przebiegi zmian wartości sił osiowych w tych śrubach w czasie pracy złącza ciernego. Przebiegi te także wskazują, że w wyniku zsuwu w złączu ciernym następuje zmniejszenie wartości sił w śrubach strzemion, co w konsekwencji prowadzi do zmniejszenia wartości siły, z jaką dociskane są współpracujące kształtowniki.



Rys. 6.16 Przebiegi czasowe sił osiowych w śrubach strzemion

W oparciu o uzyskane wyniki można stwierdzić, że proponowane obecnie przez konstruktorów wysokie wartości momentów, z jakimi mają być dokręcane śruby strzemion, zamiast zwiększyć wartość siły, z jaką są dociskane współpracujące w złączu kształtowniki, mogą doprowadzić do trwałego odkształcenia elementów tych strzemion. Przy obecnie stosowanych konstrukcjach strzemion może to spowodować efekt odwrotny, czyli obniżyć wartość tej siły. Zmniejszenie wartości siły, z jaką dociskane są współpracujące w złączu kształtowniki skutkuje zmniejszeniem nośności złącza i obudowy, a w dalszej kolejności pogorszeniem stanu bezpieczeństwa pracy w wyrobiskach zabezpieczanych tą obudową.

PODSUMOWANIE

W oparciu o przeprowadzone badania oraz informacje uzyskane od użytkowników obudowy podatnej wyrobisk korytarzowych można stwierdzić, że strzemiona mają bardzo istotny wpływ na parametry pracy złączy ciernych.

Aby prawidłowo wykonać swoje zadanie ich konstrukcja musi stanowić skuteczne zabezpieczenie śrub i kabłąków przed zginaniem w trakcie wstępnego montażu i w czasie pracy złącza. Stanowi to warunek konieczny do zapewnienia odpowiedniej i stabilnej siły docisku współpracujących w złączu ciernym kształtowników.

Podstawowymi cechami konstrukcyjnymi, jakimi powinny charakteryzować się strzemiona stosowane w obudowie podatnej wyrobisk korytarzowych są:

- odpowiednie sztywności kołnierzy strzemion umożliwiające ich pracę bez większych deformacji w zakresie wartości siły osiowej w śrubie strzemienia do ok. 140 kN,
- małe tolerancje wymiarów geometrycznych strzemion,
- mała masa strzemion w celu ułatwienia montażu oraz obniżenia ich kosztów,
- odpowiedni stan śrub (bez uszkodzeń gwintu i bez korozji),
- odpowiednie parametry wytrzymałościowe materiałów, z jakich wykonuje się strzemiona.

Bardzo istotne znaczenie dla prawidłowej pracy złączy ciernych stosowanych w obudowie podatnej wyrobisk korytarzowych ma odpowiednia metodyka oceny i kontroli stanu technicznego ich strzemion. W tym zakresie konieczna jest:

- kontrola stanu śrub strzemion przed ich montażem (stwierdzenie braku korozji oraz uszkodzeń gwintu),
- odpowiedni montaż strzemion niepowodujący uszkodzeń gwintu,
- sprawdzanie stanu smarowania śrub przed montażem i w czasie eksploatacji,
- określenie wartości momentu dokręcenia nakrętek śrub strzemion w zależności od smarowania połączenia gwintowego oraz powierzchni oporowych nakrętek i kołnierzy jarzm, co zapewni uzyskanie wymaganej wartości siły osiowej w śrubie,
- sprawdzanie stanu śrub strzemion w czasie użytkowania obudowy,
- w przypadku wystąpienia zsuwu w złączu ciernym konieczne jest dokręcenie śrub strzemion lub zastosowanie konstrukcji klina oporowego powodującego samo napinanie się śrub.

Dużym problemem dla użytkowników obudowy podatnej jest także brak kontroli sił osiowych w śrubach strzemion. W wyniku występujących zsuwów i złożonego stanu obciążenia oraz pełzania siły te ulegają znacznemu zmniejszeniu, co powoduje zmniejszenie

nośności zsuwnej złącza ciernego, a w dalszej kolejności odrzwi i stojaków ciernych. Zasadnym wydaje się zatem zastosowanie podkładek deformacyjnych oraz sprężyn talerzowych w celu kontroli wartości tych sił.

W kontekście przeprowadzonych badań krytycznie należy ocenić obecnie stosowane metody podwyższenia nośności obudowy podatnej wyrobisk korytarzowych polegające na stosowaniu coraz cięższe profili z jakich wykonuje się obudowę, złączy cierne z trzema strzemiomami oraz rosnących wartości momentów, z jakimi dokręca się nakrętki śrub strzemiom. Rozwiązania te, w wielu przypadkach, ze względu na małą efektywność pracy strzemiom, a co za tym idzie i złączy ciernych oraz problemy z montażem ciężkich konstrukcji obudowy nie przynoszą spodziewanych efektów. Powodują natomiast znaczny wzrost kosztów związany z wysokimi cenami stali oraz problemami z transportem i montażem obudowy.

LITERATURA

1. Brodny J.: *Analiza wytrzymałościowa strzemiom odrzwi obudowy chodnikowej*. Prace Naukowe GIG, Kwartalnik nr 2/1/2009, Katowice 2009.
2. Brodny J.: *Analyse des Einflusses der Dynamischen Belastung auf die Wirkung der Reibverbindung des nachgiebigen Ausbaus*. Glückauf-Forschungshefte, 7/8, 2011.
3. Brodny J.: *Wstępna analiza uszkodzeń elementów górniczej korytarzowej obudowy podatnej na podstawie badań ankietowych*. Studia i materiały Polskiego Stowarzyszenia Zarządzania Wiedzą, tom 45/2011.
4. Ciałkowski B.: *Nowe konstrukcje strzemiom do obudowy chodnikowej*. Materiały Seminarium SITG, Nowoczesne technologie górnicze. Ustroń 2006.
5. Ciałkowski B., Juraszek J., Słoma I.: *Badania typoszeregu strzemiom do łukowej obudowy odrzwiowej*. Konferencja Budownictwo Górnicze 2000. Kokotek k. Lublińca 1986.
6. Ditrich M.: *Podstawy konstrukcji maszyn*. Wydanie II zmienione, tom 1,2,3, WNT, Warszawa 1999.
7. Skoć A., Spałek J.: *Podstawy konstrukcji maszyn*. Tom 2, WNT. Warszawa 2008.

ANALIZA WPLYWU STRZEMION NA PRACĘ ZŁĄCZA CIERNEGO

Streszczenie: *W opracowaniu przedstawiono wyniki badań wpływu strzemion oraz ich jarzm na pracę złącza ciernego wykorzystywanego w górniczej obudowie podatnej wyrobisk korytarzowych. Oprócz połączenia konstrukcyjnego głównym zadaniem strzemion w złączu ciernym jest zapewnienie odpowiedniej siły docisku między współpracującymi kształtownikami, co wiąże się z koniecznością zapewnienia osiowego obciążenia w stosowanym w strzemionach połączeniu gwintowym. W tym celu przeprowadzono badania całych strzemion i ich jarzm określając wartość obciążenia, przy którym dochodzi do ich trwałej deformacji. Deformacje te są główną przyczyną nieosiowego obciążenia połączenia gwintowego. Badaniom poddano najczęściej obecnie stosowane konstrukcje strzemion oraz wzmocnioną wersję strzemienia SDO29. Uzyskane wyniki jednoznacznie dowodzą, że strzemiona mają bardzo istotny wpływ na pracę złączy ciernych oraz bezpieczeństwo pracy obudowy.*

Słowa kluczowe: *obudowa podatna, złącze cierne, strzemiona*

ANALYSIS OF INFLUENCE OF CLEVISES ON FUNCTIONING OF FRICTION JOINT

Abstract: *The paper presents the results of research on influence of clevises and their yokes on functioning of friction joint used in mining housing of corridor excavation. Apart from the construction joint, the main role of the clevis in friction joint is ensuring sufficient downforce among working profiles, which is related with the necessity of ensuring axial load in threaded joints. For this reason there was performed research on whole clevises and their yokes concentrated on determining the value of the load, at which they get permanently deformed. These deformations are the main reason for non-axial load of threaded joint. The research was done on the most commonly used constructions of clevises and the reinforced version of SDO29 clevis. The results prove that the clevises have crucial impact on functioning of friction joints and safety of work of the housing.*

Key words: *mining housing, friction joints, clevises*

dr hab. inż. Jarosław BRODNY, prof. Pol. Śl.
Politechnika Śląska, Wydział Górnictwa i Geologii
Instytut Mechanizacji Górnictwa
ul. Akademicka 2A, 44-100 Gliwice
tel. +4832 237 2465, e-mail: jaroslaw.brodny@polsl.pl