



Analiza wpływu strzemion na parametry pracy złącza ciernego

Analysis of stirrups impact on the parameters of friction joint operation

*Dr hab. inż. Jarosław Brodny, prof. nzw. w Pol. Śl.**

Treść: Głównym zadaniem strzemion w złączu ciernym, oprócz połączenia konstrukcyjnego, jest zapewnienie odpowiedniej siły docisku współpracujących kształtowników w całym zakresie pracy złącza ciernego. W tym celu w strzemionach wykorzystuje się połączenie gwintowe. Aby spełniło ono swoją funkcję, konieczne jest zapewnienie mu w maksymalnym zakresie pracy osiowego obciążenia. W artykule przedstawiono wyniki badań stanowiskowych, mających na celu wyznaczenie wartości obciążeń, przy których dochodzi do deformacji strzemion i ich elementów. Deformacja ta jest bowiem główną przyczyną nieosiowego obciążenia śrub i kabłąków strzemion, co ma istotny wpływ na parametry pracy złącza ciernych. Zakres badań objął najczęściej obecnie stosowane konstrukcje strzemion oraz nową wzmocnioną wersję strzemienia SDO29. Uzyskane wyniki jednoznacznie dowodzą, że konstrukcja strzemion oraz materiał, z jakiego są wykonane, mają bardzo istotny wpływ na parametry pracy złącza ciernych, co bezpośrednio przekłada się na bezpieczeństwo pracy obudowy.

Abstract: The basic function of stirrups in a friction joint, apart from the structure assembly, is to ensure the proper feed force of the mating shapes in the whole cycle of friction joint operation. Thus, the screw joints are used in stirrups. To function properly it must have proper axial load during maximum operation. This paper presents the results of bench tests which were conducted to determine the load values sufficient to demonstrate deformations of stirrups and their components. Such a deformation is the main reason for non-axial load of screws and bows of stirrups which has a significant influence on the parameters of friction joints operation. The scope of the research included the most commonly applied structures of stirrups and a new and reinforced version of SDO29 stirrup. The obtained results prove that the stirrup structure and material it is made of, have a great influence on the parameters of friction joint operation which directly influences the work safety of the lining.

Słowa kluczowe:

obudowa podatna, złącze cierne, strzemiona

Key words:

flexible lining, friction joint, stirrups

1. Wprowadzenie

Głównym zadaniem strzemion w złączu ciernym, oprócz połączenia konstrukcyjnego, jest zapewnienie odpowiedniej siły docisku między współpracującymi kształtownikami. Siła ta decyduje o parametrach pracy złącza ciernego, a w dalszej kolejności o pracy stojaków ciernych i odrzwi stanowiących podstawowe elementy konstrukcyjne górniczej obudowy podatnej wyrobisk korytarzowych. Strzemiona mają więc bardzo istotny wpływ na parametry pracy tej obudowy. Prawidłowa ich konstrukcja, poprawne wykonanie i montaż mogą w sposób istotny wpłynąć na parametry pracy złącza ciernych oraz bezpieczeństwo pracy w wyrobiskach zabezpieczanych tym typem obudowy.

W ostatnich kilkunastu latach powstało wiele konstrukcji strzemion, z których praktyczne zastosowanie znalazły dwa ogólne ich typy: kabłąkowe i dwujarzmowe [5, 8].

Obecnie najczęściej są stosowane strzemiona dwujarzmowe typu SDO i SD, stanowiące w sumie około 77 % ogólnej liczby nowo montowanych strzemion. 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.

Na podstawie analizy literatury [4, 5, 7, 8, 11, 12] oraz informacji i opinii uzyskanych od użytkowników obudowy podatnej [2, 3] ustalono, że w czasie eksploatacji strzemion ujawnia się wiele problemów. Głównymi spośród nich są: zbyt duże wartości momentu dokręcenia nakrętek

* Wydział Górnictwa i Geologii, Instytut Mechanizacji Górnictwa, Gliwice.

śrub powodujące usztywnienie złączy ciernych, zbyt małe wartości momentu dokręcenia nakrętek śrub powodujące brak odpowiedniej nośności i zbyt szybkie zsuwy w złączach, duża odkształcalność kołnierzy strzemion typu SDO, zbyt duża sztywność jarzm dolnych strzemion typu SKL, a także deformacje śrub strzemion będące wynikiem działania złożonych stanów obciążenia. Problemem jest także brak wyników badań porównawczych dla różnych typów strzemion, które są dostępne na rynku.

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.

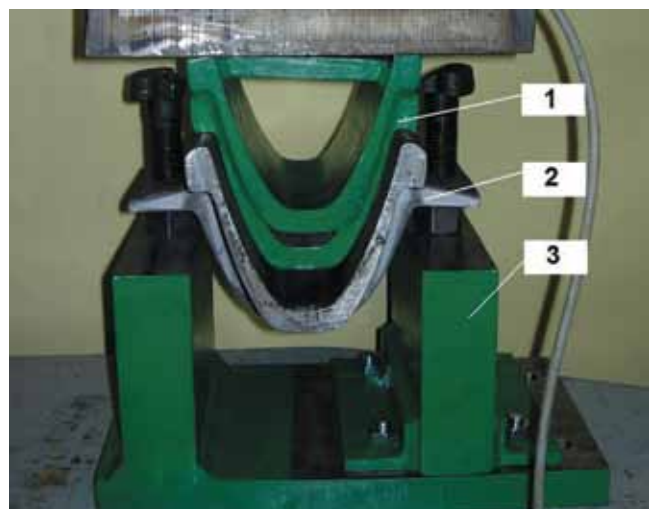
Mając na uwadze zadanie, jakie w złączu ciernym pełnią strzemiona oraz problemy związane z ich eksploatacją, w celu oceny ich pracy oraz roli w złączu ciernym przeprowadzono badania stanowiskowe, które swoim zakresem objęły badania jarzm strzemion na zginanie, strzemion na rozciąganie oraz złączy ciernych poddanych osiowemu ściskaniu.

Celem badań było wyznaczenie charakterystyk pracy strzemion oraz ich jarzm, a także złączy ciernych i na tej podstawie określenie wartości obciążeń, przy których dochodzi do trwałych odkształceń elementów strzemion lub ich 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. Założenie to potwierdziły uwagi zgłaszane przez użytkowników obudowy, a także wyniki analizy pracy połączenia gwintowego [2, 3, 11, 12].

2. Badania stanowiskowe jarzm strzemion

Badania stanowiskowe jarzm strzemion przeprowadzono na maszynie wytrzymałościowej z wykorzystaniem przyrządu, którego widok wraz z zamontowanym jarzmem dolnym strzemienia SDO29 przedstawiono na rysunku 1 [2].

Badania polegały na obciążaniu jarzma (2) siłą działającą symetrycznie względem niego poprzez specjalny obciążnik (1), co jest zgodne z Polską Normą [9]. W trakcie badań reje-



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

Fig. 1. Bending test on the yoke of the lower stirrup SDO29: 1 – weight of the tool, 2 – tested yoke, 3 – base of the tool

strowano wartość siły, z jaką obciążano jarzmo oraz wartość przemieszczenia uchwytu górnego maszyny wytrzymałościowej, która odpowiadała przemieszczeniu kołnierzy jarzma.

Badaniom poddano jarzma najczęściej obecnie stosowanych strzemion SDO29 oraz SKL29, a także nowej wzmocnionej konstrukcji jarzma dolnego strzemienia SDO29 (oznaczonej jako SDO29w). Konstrukcja ta jest wynikiem ostatnio prowadzonych przez Autora prac optymalizacyjnych dla najczęściej obecnie stosowanych strzemion typu SDO. Charakteryzuje się ona wzmocnionymi kołnierzami jarzma dolnego poprzez dołożenie bocznych płaskowników (rys. 2b).

Celem badań było wyznaczenie charakterystyk pracy zginanych jarzm i na tej podstawie określenie wartości obciążenia przenoszonego przez jarzmo, przy którym dochodzi do jego trwałej deformacji lub zniszczenia.

Na rysunku 2 przedstawiono uzyskane charakterystyki pracy badanych jarzm.

W tabelicy 1 zestawiono wyniki badań strzemion na zginanie. Uwzględniono w niej maksymalną wartość siły przenoszonej przez strzemię P_{max} , maksymalne odkształcenie u_{max} oraz wartość siły P_e , przy której rozpoczął się proces trwałej deformacji jarzma. Zakładając symetryczne obciążenie kołnierzy jarzm strzemion wyznaczono także wartość siły Q_e , jaką przenosi śruba strzemienia w momencie rozpoczęcia procesu trwałej deformacji jarzma.

Tablica 1. Zestawienie parametrów pracy badanych jarzm
Table 1. Parameters of operation of the tested yokes

	P_{max} , kN	u_{max} , mm	P_e , kN	Q_e , kN
Jarzmo dolne strzemienia SDO29	598,2	20,09	417,0	208,5
Jarzmo górne strzemienia SDO29	530,8	21,44	410,0	205,0
Jarzmo strzemienia SKL29	490,0	7,18	480,0	240,0
Jarzmo dolne strzemienia SDO29w	735,4	8,55	600,0	300,0

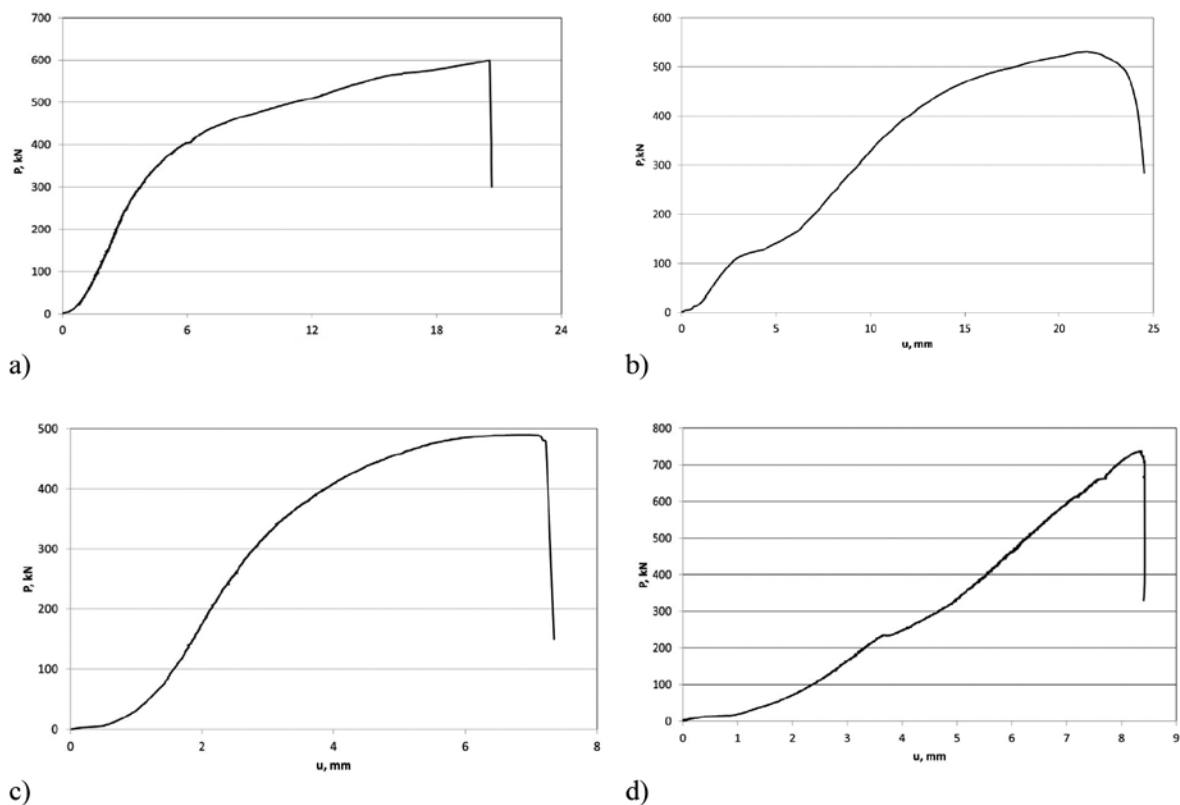
Analizując uzyskane wyniki, można stwierdzić, że najwyższą wytrzymałość na zginanie posiada jarzmo dolne wzmocnione strzemienia SDO29w, natomiast najniższą jarzmo strzemienia SKL29 wykonane z żeliwa. Boczne wzmocnienie kołnierzy jarzma dolnego strzemienia SDO29 bardzo korzystnie wpłynęło na wartość przenoszonej przez nie siły w czasie zginania. W stosunku do podstawowej wersji tego jarzma wzrost ten wynosi 22,9 %.

Również podwyższeniu w stosunku do jarzma strzemienia SDO29 uległa wartość siły, przy której pojawiły się trwałe odkształcenia w jarzmie SDO29w. Zakładając symetryczne obciążenie jarzm strzemion, można przyjąć, że aby doszło do ich trwałego odkształcenia, na każdy z kołnierzy jarzma strzemienia SDO29w musi działać siła o wartości ok 300 kN.

Z punktu widzenia wytrzymałości śrub strzemion (śruby M24, klasy 8.8) wartość tej siły jest bardzo wysoka, co gwarantuje ich osiowe obciążenie [1, 6].

Najniższe obciążenia wywołujące trwałe odkształcenie zanotowano dla jarzm strzemion typu SDO29. Przy obciążeniu wynoszącym około 205 kN na każdy z kołnierzy rozpoczyna się proces trwałej ich deformacji. Niska sztywność tych jarzm powoduje duże ich odkształcenie w zakresie sprężystym, co niekorzystnie wpływa na stan obciążenia śrub tych strzemion.

W przypadku jarzma strzemienia SKL zanotowano korzystne parametry pracy. Praktycznie do wartości obciążenia wynoszącego około 240 kN na kołnierz, jarzmo to nie ulegało wyraźnej trwałej deformacji. Niestety żeliwo, z jakiego jest wykonane jarzmo, powodowało że proces zniszczenia nastę-



Rys. 2. Charakterystyki pracy jarzma dolnego (a) i górnego (b) strzemienia SDO29, jarzma dolnego strzemienia SKL (c) i jarzma dolnego strzemienia SDO29w (d)

Fig. 2. Characteristics of operation of the lower (a) and upper (b) yokes of the stirrup SDO29, lower yoke of the stirrup SKL (c) and lower yoke of the stirrup SDO29w (d)

pował nagle, bez wyraźnych objawów, co jest zjawiskiem niekorzystnym.

Przeprowadzone badania umożliwiły także przeanalizowanie procesu deformacji i zniszczenia zginanych jarzm strzemion.

Na rysunku 3 przedstawiono stan deformacji jarzm dolnych strzemienia SDO29 i jego wzmocnionej wersji SDO29w.

Stan deformacji kołnierza jarzma dolnego strzemienia SDO29 jest zdecydowanie niekorzystny i w sposób negatywny przekłada się na stan obciążenia śrub strzemienia. Pozytywnie

można natomiast ocenić stan deformacji jarzma strzemienia SDO29w, które wykazuje odpowiednią sztywność w zakresie przewidywanych wartości obciążenia śrub strzemienia.

Badania poszczególnych elementów strzemion nie uwzględniają wzajemnego ich oddziaływania, jakie ma miejsce w czasie pracy strzemion w złączy ciernym. Stanowią jednak źródło istotnych informacji koniecznych do indywidualnej oceny tych elementów. Z tego też względu badania te należy traktować jako wstępne i porównawcze w stosunku do badań całych strzemion oraz złączy ciernych.



Rys. 3. Stan deformacji jarzm dolnych strzemienia SDO29 – a; i SDO29w – b
 Fig. 3. Deformation level of lower yokes of the stirrup SDO29 (a) and SDO29w (b)

3. Badania strzemion na rozciąganie

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

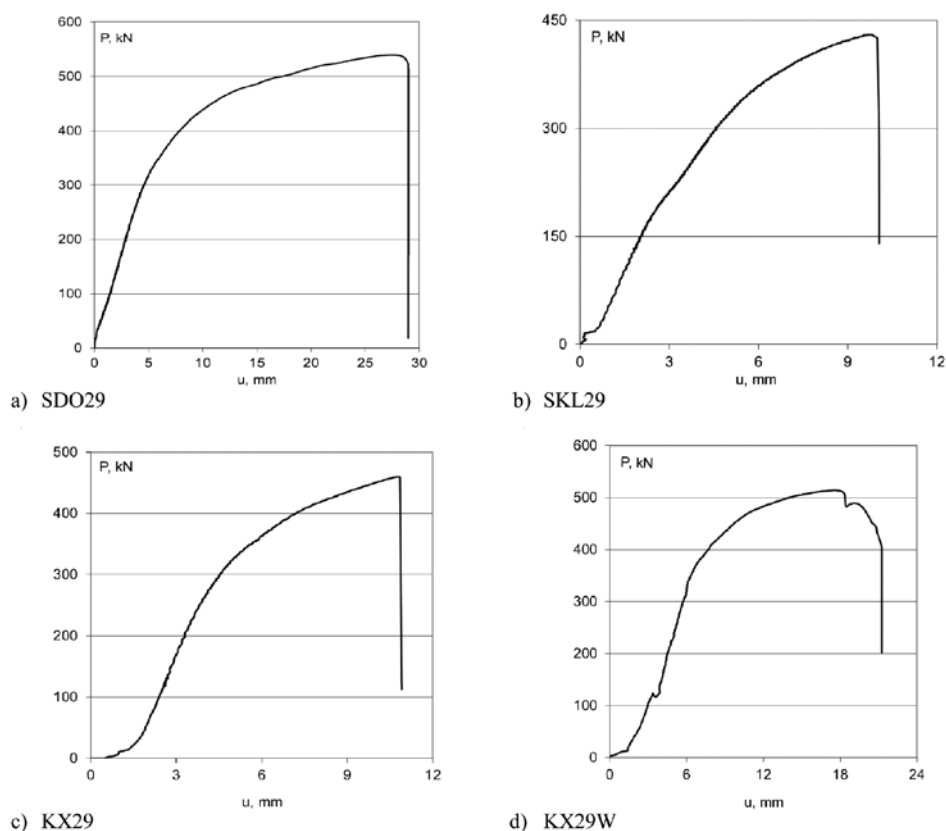
Badania strzemion przeprowadzono na maszynie wytrzymałościowej z wykorzystaniem specjalistycznego przyrządu umożliwiającego wyznaczenie charakterystyki pracy strzemienia obciążonego siłą rozciągającą [2, 7].

Widok przyrządu wraz z zamontowanym strzemieniem SDO29 przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Przyrząd do badania strzemion na rozciąganie z zamontowanym strzemieniem SDO29

Fig. 4. Instrument for tension test on stirrups with the mounted stirrup SDO29



Rys. 5. Charakterystyki pracy strzemion poddanych rozciąganiu

Fig. 5. Characteristics of operation of the stirrups put to tension

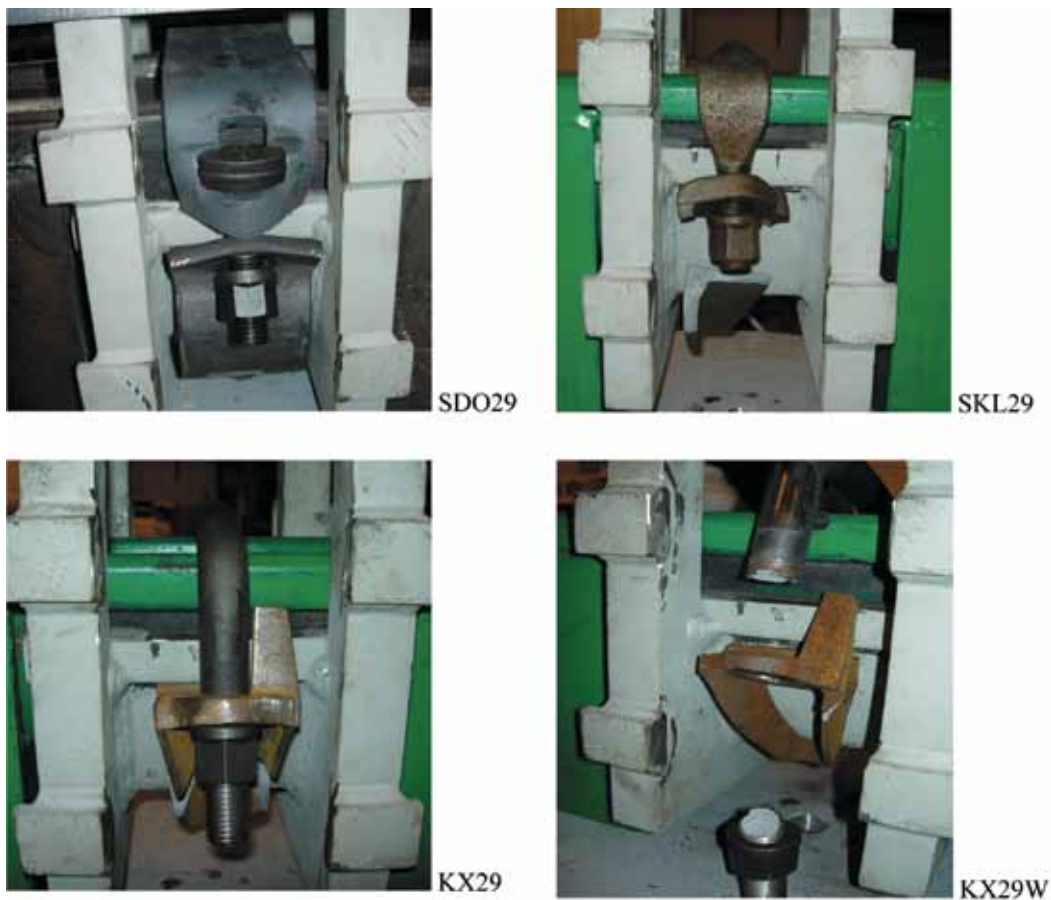
Celem badań było wyznaczenie charakterystyk pracy strzemion, określających zmianę wartości siły P przenoszonej przez rozciągane strzemie do momentu jego zniszczenia lub takiego stanu deformacji, który uniemożliwił dalszą jego pracę w funkcji jego wydłużenia u . Miarą wydłużenia strzemienia było przemieszczenie pionowe tłoka maszyny wytrzymałościowej.

Badaniami objęto stosowane obecnie strzemiona typu SDO29, SKL29, KX29 i KX29W, dla których wyznaczone charakterystyki pracy przedstawiono na rysunku 5, a widoki po badaniu na rysunku 6 [2].

W tabelicy 2 zestawiono dane badanych strzemion, istotne z punktu widzenia pracy złącza ciernego. Dane te obejmują maksymalną wartości siły przenoszoną przez strzemie P_{max} , maksymalne odkształcenie strzemienia u_{max} , wartości siły P_e , przy której rozpoczął się proces trwałej deformacji strzemienia oraz wartość siły Q_e , jaką przenosi śruba strzemienia w momencie rozpoczęcia procesu trwałej deformacji jarzma.

Badaniom poddano także nową wzmocnioną konstrukcję strzemienia SDO29 (SDO29w), której charakterystykę pracy oraz stan deformacji po badaniu przedstawiono na rysunku 7.

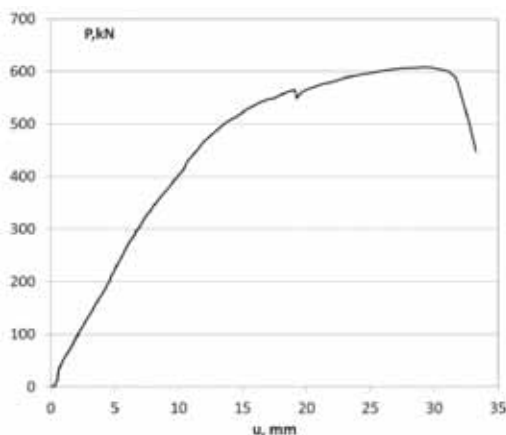
Analizując uzyskane wyniki można stwierdzić, że największą siłę wynoszącą 539 kN, spośród obecnie stosowanych strzemion przeniosło strzemie SDO29. Proces jego trwałego odkształcenia rozpoczął się przy wartości siły obciążającej wynoszącej około 280 kN. Zakładając równomierne obciążenie kołnierzy jarzm tego strzemienia, można przyjąć, że przy obciążeniu rozciągającym wynoszącym około 140 kN rozpoczyna się proces jego deformacji. Można więc przyjąć, że dla złącza ciernego ze strzemionami SDO29 wartość wstępnej siły osiowej w śrubie strzemienia nie powinna przekroczyć 140 kN. Powyżej tej wartości, występujące w strzemieniu procesy deformacyjne mogą wywołać niekorzystny stan obciążenia jego śrub.



Rys. 6. Widoki strzemion po badaniu na rozciąganie
 Fig. 6. View of stirrups after the tension test

Tablica 2. Zestawienie parametrów pracy badanych strzemion
 Table 2. Parameters of operation of the tested stirrups

Typ strzemienia	Maksymalne Obciążenie P_{max} , kN	Maksymalne wydłużenie u_{max} , mm	Obciążenie na granicy trwałej deformacji P_e , kN	Obciążenie połączenia gwintowego Q_e , kN
SKL29	429,5	9,8	338,0	169,0
KX29	459,0	9,6	312,0	156,0
KX29W	512,0	17,8	390,0	195,0
SDO29	539,1	29,1	280,4	140,2
SDO29w	621,3	20,4	510,0	255,0



Rys. 7. Charakterystyka pracy strzemienia SDO29w (a) i jego widok po badaniu (b)
 Fig. 7. Characteristics of operation of the stirrup SDO29w (a) and its view after the test (b)

Porównywalne do strzemienia SDO29, obciążenie wynoszące 512 kN przeniosło strzemie kablakowe KX29W, którego jarzmo dolne wykonane jest ze staliwa. Wartość siły, przy której następuje trwałe odkształcenie elementów tego strzemienia, jest wysoka i wynosi około 390 kN.

W strzemionach kablakowych 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 jednak mniejsze odkształcenia, które objęły głównie kablaki. Proces zniszczenia tych strzemion objął ich jarzma i przebiegał bez wyraźnej ich deformacji. Takie zachowanie strzemienia może doprowadzić do jego nagłego niespodziewanego zniszczenia, co stwarza duże niebezpieczeństwo uszkodzenia obudowy. Uwagi krytyczne można sformułować także do wykonania jarzm tych strzemion. Szczególnie w przypadku jarzm strzemion SKL widać niejednorodności materiałowe w przekroju, w którym uległo ono zniszczeniu.

Z punktu widzenia pracy złącza ciernego najkorzystniejszymi parametrami pracy spośród obecnie stosowanych strzemion charakteryzuje się strzemie KX29W, które uległo zniszczeniu przy najwyższym obciążeniu zewnętrznym wynoszącym 621,3 kN. Również proces trwałej deformacji tego strzemienia rozpoczyna się przy wysokich wartościach obciążenia, co stwarza możliwość uzyskania wysokich wartości wstępnych sił osiowych w jego śrubach. Wzmocnione kołnierze jarzma dolnego tego strzemienia ograniczają jego deformację zapewniając osiowe obciążenie śrub praktycznie do wartości ich maksymalnej wytrzymałości (ok. 250 kN). Można więc przyjąć, że strzemie to stwarza bardzo korzystne warunki pracy dla śrub.

Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że charakterystyki pracy strzemion oraz proces ich zniszczenia są uzależnione w istotnym stopniu od materiału, z jakiego wykonano, oraz od ich geometrii. W szczególności świadczy o tym charakterystyka pracy wzmocnionego strzemienia SDO29w. Zwiększenie sztywności kołnierzy poprzez wprowadzenie bocznych wzmocnień znacznie poprawiło parametry jego pracy.

W przypadku najczęściej obecnie stosowanych strzemion typu SDO maksymalna wartość obciążenia, przy której doszło do jego zniszczenia, jest wysoka, natomiast przy niższych wartościach obciążenia dochodzi do istotnych z punktu widzenia pracy śrub, deformacji tego strzemienia. W przypadku tego strzemienia korzystnie należy ocenić proces jego niszczenia, który przebiega przy wyraźnej jego deformacji.

4. Wpływ strzemion na parametry pracy złącza ciernego

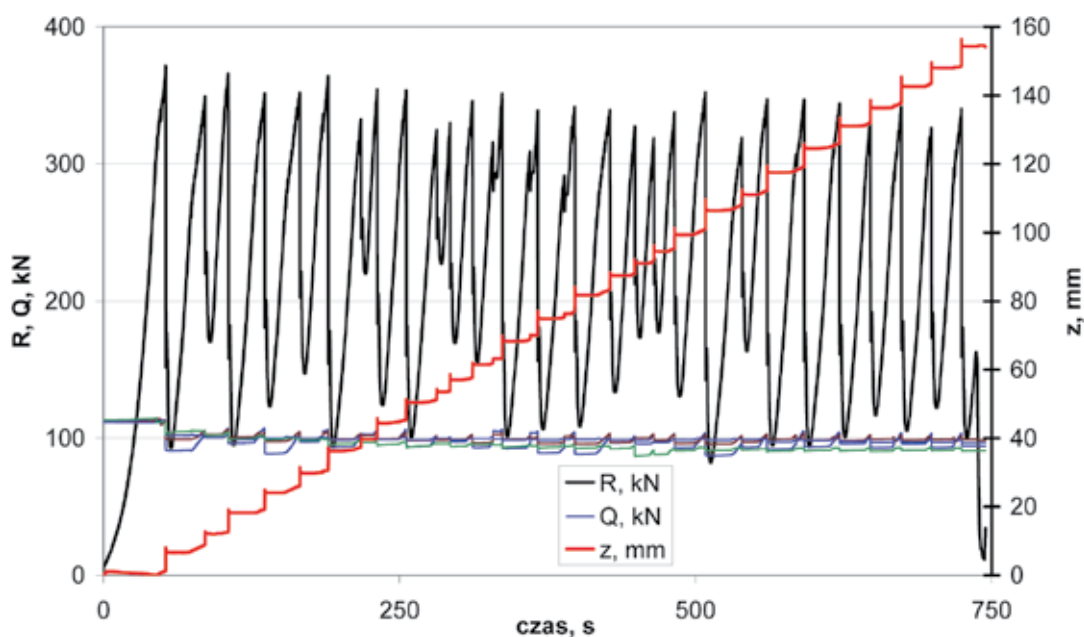
Rzeczywista praca strzemion odbywa się w złączach ciernych, dlatego zasadnym jest ich badanie w czasie pracy złączy.

W celu określenia wpływu typu zastosowanych strzemion na parametry pracy złączy ciernych przeprowadzono ich badania stanowiskowe. Badania objęły proste złącza cierne poddane osiowemu ścisłaniu zgodnie z Polską Normą [10]. Złącza wykonane były z kształtownika V29, z dwoma strzemionami każdego z badanych typów. Dla każdego z zastosowanych typów strzemion przeprowadzono badania dla pięciu różnych wartości wstępnych sił osiowych w ich śrubach i kablakach.

W wyniku przeprowadzonych badań wyznaczono przebiegi czasowe wartości siły R przenoszonej przez złącze, przemieszczenia z zsuwającego się kształtownika oraz wartości sił osiowych Q w śrubach strzemion.

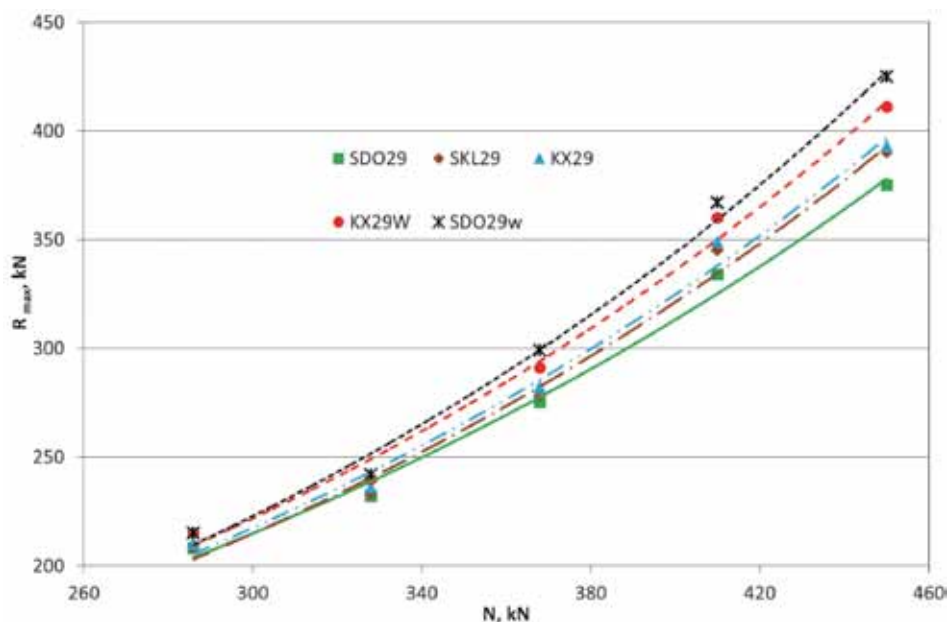
Na rysunku 8 przedstawiono przykładowe przebiegi czasowe wyznaczonych wielkości dla złącza ciernego ze strzemionami typu SDO29, dla których wstępne wartości sił osiowych w śrubach strzemion wyniosły po 110 kN [2].

Na podstawie wyznaczonych przebiegów określono zależności pomiędzy maksymalną wartością siły przenoszonej przez proste złącze cierne R_{max} , a sumaryczną wartością wstępnych sił osiowych N w śrubach strzemion, dla złączy z różnymi typami strzemion (rys. 9). Na rysunku tym przedstawiono także wyniki badań złączy ze wzmocnionymi strzemionami typu SDO29w.



Rys. 8. Zmiany wartości sił osiowych w śrubach strzemion, siły przenoszonej przez złącze oraz przemieszczenia zsuwającego się kształtownika w złączu ciernym

Fig. 8. Changes in values of axial forces in stirrups screws, force conveyed by the joint and the displacement of a shape sliding down in the friction joint



Rys. 9. Zależność maksymalnej wartości siły przenoszonej przez złącze cierne od sumarycznej wartości wstępnych sił osiowych w śrubach strzemion dla różnych typów strzemion
Fig. 9. Relationship between the maximum force conveyed by the friction joint and the total force

Analizując otrzymane zależności można stwierdzić, iż wraz ze wzrostem wartości wstępnych sił osiowych w śrubach strzemion zwiększają się różnice pomiędzy maksymalnymi wartościami sił przenoszonych przez złącza cierne w zależności od typu strzemion zastosowanych w danym złączu.

W zakresie przeprowadzonych badań dla wartości wstępnej siły osiowej w każdej śrubie strzemienia wynoszącej do 90 kN różnice w wartościach tych sił są niewielkie. Przy wartościach sił osiowych w śrubie wynoszących 100 kN i 110 kN, zanotowano wyraźne różnice między maksymalnymi wartościami sił przenoszonych przez badane złącza.

Spośród obecnie stosowanych strzemion najwyższe wartości maksymalnej siły przenoszonej przez złącze zanotowano dla złączy ze strzemionami typu KX29W, a najniższe ze strzemionami typu SDO29.

Bardzo dobre wyniki zarejestrowano dla złączy ciernych z strzemionami typu SDO29w. Wraz ze wzrostem wartości wstępnych sił osiowych w śrubach tych strzemion rośnie wartość siły przenoszonej przez złącza z tymi strzemionami w stosunku do pozostałych złączy. Dla wstępnej wartości siły osiowej w śrubach strzemion wynoszącej 110 kN wzrost maksymalnej siły przenoszonej przez to złącze w stosunku do złączy ze strzemionami typu SDO29 wyniósł około 14 %. Przyczyną tych wzrostów jest wzmocnienie kołnierzy jarzma dolnego tego strzemienia, co istotnie poprawiło jego sztywność.

W przypadku złączy ze strzemionami typu SKL29 i KX29 uzyskane maksymalne wartości przenoszonej przez nie siły w całym zakresie zmian wartości wstępnych sił osiowych w kabłąkach są bardzo zbliżone.

5. Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań oraz informacji uzyskanych od użytkowników obudowy podatnej wyrobisk korytarzowych można stwierdzić, że strzemiona mają bardzo istotny wpływ na parametry pracy złączy ciernych, a w dalszej kolejności na pracę całej obudowy podatnej wyrobisk korytarzowych.

Podstawowym zadaniem strzemion jest zapewnienie optymalnych warunków pracy dla połączenia gwintowego w jak najszerszym zakresie obciążeń. Aby spełnić to zadanie, ich konstrukcja musi stanowić skuteczne zabezpieczenie dla śrub i kabłąków przed zginaniem w trakcie wstępnego montażu i w czasie pracy złączy. Stanowi to warunek konieczny do uzyskania odpowiedniej i stabilnej siły docisku współpracujących w złączu ciernym kształtowników.

Przeprowadzone badania dowiodły, że nie wszystkie obecnie stosowane strzemiona są w stanie zapewnić prawidłowe warunki pracy dla połączenia gwintowego. W szczególności dotyczy to wartości sił osiowych w śrubach strzemion powyżej 100 kN. Wpływ na to ma zarówno materiał, z jakiego wykonane są elementy strzemienia, jak i jego konstrukcja.

W zakresie przeprowadzonych badań obecnie stosowanych strzemion i ich elementów można stwierdzić, iż najlepsze parametry pracy mają strzemiona kabłąkowe typu KX29W. Zarówno dla całych strzemion tego typu, jak i ich jarzm uzyskano bardzo dobre wyniki w zakresie zginania i rozciągania. Również dla złączy ciernych z tymi strzemionami poddanych osiowemu ściskaniu zarejestrowano bardzo korzystne parametry pracy.

Na tej podstawie można stwierdzić, iż strzemiona typu KX29W charakteryzują się bardzo korzystnymi parametrami pracy. Dotyczy to zarówno parametrów wytrzymałościowych, jak i odkształceniowych.

Nieco słabsze parametry pracy zarejestrowano dla najczęściej obecnie stosowanych strzemion typu SDO. W szczególności dotyczy to wyższych wartości sił osiowych w śrubach strzemion (powyżej 100 kN), które wywołują duże deformacje jarzm tych strzemion. Wpływa to negatywnie na stan obciążenia śrub w tych strzemionach.

W przypadku strzemion typu SKL29 i KX29 wyznaczone parametry należy uznać za poprawne. Zagrożenie może stanowić sposób niszczenia tych strzemion. Zastosowanie żeliwa jako materiału, z którego wykonane są jarzma tych strzemion, powoduje, że proces ten przebiega dynamicznie. Brak wyraźnych symptomów deformacyjnych przy zbliżaniu się do krytycznych obciążeń skutkuje niebezpieczeństwem nagłej utraty nośności przez złącze.

Podsumowując badania najczęściej obecnie stosowanych strzemion można stwierdzić, że każdy z analizowanych typów ma określone wady i zalety. W zależności od warunków zewnętrznych, w jakich mają być zastosowane te strzemiona, można dobrać odpowiedni ich typ. W szczególności dotyczy to sposobu i wielkości obciążenia

Bardzo istotnym czynnikiem są także koszty wykonania strzemion, które w wielu przypadkach mają decydujący wpływ na ich dobór.

Badaniom poddano także jarzmo i strzemię powstałe jako modyfikacja strzemienia typu SDO29, poprzez wzmocnienie kołnierza jego jarzma dolnego (SDO29w). Uzyskane wyniki badań jarzma, strzemiona oraz złącza ciernego z tymi strzemionami wykazały, iż modyfikacja ta bardzo korzystnie wpłynęła na parametry ich pracy.

Podwyższenie sztywności jarzma dolnego poprawiło parametry wytrzymałościowe tego strzemienia. Szczególnie korzystne parametry zanotowano w przypadku badania złączy ciernych ze strzemionami typu SDO29w przy wyższych wartościach wstępnych sił osiowych w śrubach strzemion (powyżej 90 kN).

Przeprowadzone badania oraz zaprezentowana wzmocniona konstrukcja strzemienia SDO29w stanowią kolejny etap prac mających za zadanie poprawę parametrów pracy strzemion i złączy ciernych. Prace te powinny wpłynąć na pełniejsze wykorzystanie parametrów wytrzymałościowych odrzwi i stojaków ciernych, co może przełożyć się na szersze stosowanie lżejszych profili kształtowników typu V25 i V29.

Badania te potwierdziły także, iż poważnym problemem dla użytkowników obudowy podatnej jest brak kontroli sił osiowych w śrubach strzemion. Uniemożliwia to bezpośrednią ocenę stanu obciążenia połączenia gwintowego, co może przełożyć się na parametry pracy złącza.

Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że coraz częściej 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.

Nadto obecnie, w celu podwyższenia nośności obudowy podatnej wyrobisk korytarzowych stosuje się coraz cięższe profile, złącza cierne z trzema strzemionami oraz coraz większe wartości momentów, z jakimi dokręca się nakrętki śrub strzemion. Rozwiązania te, w wielu przypadkach, ze względu na małą efektywność pracy strzemion, 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.

Zasadnym w tym przypadku wydaje się wprowadzenie kontroli stanu połączenia gwintowego, uzależnienie warto-

ści momentu dokręcenia od stanu tego połączenia (suche, smarowane), unikanie przy montażu strzemion uszkodzeń powierzchni gwintowanych itp.

Natomiast przy opracowywaniu nowych konstrukcji strzemion należy przeprowadzić optymalizację ich kształtu, co wiąże się z koniecznością stosowania nowych technologii ich wykonania (np. kucia). Można także stwierdzić, iż w przypadku odlewania elementów strzemion, umożliwiającego uzyskanie bardziej optymalnych ich kształtów, należy zrezygnować z żeliwa, jako materiału kruchego, na rzecz staliwa.

Literatura

1. *Brodny J.*: Wstępna analiza pracy połączenia śrubowego w złączu ciernym. Kwartalnik Akademii Górniczo-Hutniczej, Górnictwo i Geoinżynieria, Zeszyt 2, Kraków 2010.
2. *Brodny J.*: Identyfikacja parametrów pracy złącza ciernego stosowanego w górniczej obudowie podatnej wyrobisk korytarzowych. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Seria Monografie nr 377, Gliwice 2012.
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 strzemion do obudowy chodnikowej. Materiały Seminarium SITG, Nowoczesne technologie górnicze. Ustroń 2006.
5. *Ciałkowski B.*: Teoretyczne i doświadczalne podstawy konstrukcji złącza obudowy LP dla wyrobisk zagrożonych tąpnięciami. Praca doktorska. Główny Instytut Górnictwa, Katowice 1996.
6. *Ditrich M.*: Podstawy konstrukcji maszyn. Wydanie II zmienione, tom 1,2,3, WNT, Warszawa 1999.
7. *Gluch P.*: Badania porównawcze nośności na rozciąganie wybranych strzemion obudów górniczych. Nowoczesne Technologie Górnicze, Ustroń 2006.
8. *Pacześniowski K.*: Wytrzymałościowe badania strzemion górniczych do łączenia stalowych elementów odrzwi obudowy chodnikowej pod kątem ich bezpiecznego stosowania w podziemnych wyrobiskach górniczych. Nowoczesne Technologie Górnicze, Ustroń 2006.
9. PN-87/G-15000/10-Obudowa chodników odrzwiami podatnymi z kształtowników korytkowych. Strzemiona. Badania wytrzymałościowe.
10. PN-91/G-15000/11, Obudowa chodników odrzwiami podatnymi z kształtowników korytkowych. Kształtowniki korytkowe proste. Badanie złącz.
11. *Stefaniak D.*: Metoda analizy wstecznej uszkodzeń obudów chodnikowych wskutek wstrząsów górotworu i jej zastosowanie w optymalizacji konstrukcji. Praca doktorska Głównego Instytutu Górnictwa, Katowice 1995.
12. *Stoiński K.*: Wybrane problemy współpracy obudowy wyrobisk górniczych z górotworem w warunkach obciążeń dynamicznych - tąpnięć. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej Zeszyt 171, Gliwice 1988.