ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLASKIEJ 2000
Seria GÓRNICTWO z 246 Nr kol. 1480

Piotr GŁUCH
Politechnika Śląska, Gliwice

BADANIA WPŁYWU WODY I ZANIECZYSZCZEŃ SKALNYCH NA SIŁĘ WIĄZANIA KOTWI WKLEJANYCH

Streszczenie. Parametry wytrzymałościowe obudowy kotwiowej w zasadniczym stopniu są uzależnione od stosowanej technologii kotwienia. Wśród czynników, które wpływają na wytrzymałość i siłę wiązania kotwi ze ścianką otworu skalnego, są znajdująca się w nich woda i zanieczyszczenia skalne. Badania wpływu wody i zanieczyszczeń skalnych przeprowadzone w warunkach laboratoryjnych wykazały, że dochodzi do znacznych zmian w wielkości siły wiązania i charakterystyce pracy kotwi. W celu zapewnienia wysokiej nośności kotwi wklejanej wymagane jest stosowanie właściwych materiałów do kotwienia oraz technologii zapewniającej:
- wiercenie otworów o średnicy umożliwiającej osadzanie kotwi z pierścieniem kleju o grubości 2 do 2.5 mm,
- wiercenie otworów technologią eliminującą dostęp wody lub okruchów skalnych do ładunku kotwiowego w chwili osadzania kotwi w otworze.

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF WATER AND ROCK IMPURITIES ON BONDING POWER OF ADHESIVE BONDED BOLTS

Summary. Strength parameters of the bolted roof support are to a high degree conditioned by the applied technique of roof bolting. Water and rock impurities existing in bore holes are factor which influence the strength and power of boding of a bolt with the hole wall. From the laboratory tests it has appeared that considerable changes in bonding power and in the performance characteristic of bolts take place under the influence of water and rock impurities. To ensure the high load capacity of an adhesive bonded bolt in is necessary to use proper materials for bolting and the technique that results in: - a bore hole the diameter of which allows the bolt witch an adhesive sheath of 2 to 2,5 mm in thickness to be inserted into the hole.

1. Wstęp

W kopalniach węgla kamiennego kotwienie skał znajduje coraz szersze zastosowanie praktyczne zarówno dla:

- wzmocnienia górotworu między odrzwiami obudowy podporowej,
- przykotwiania odrzwi obudowy podporowej,
- przykotwiania maszyn do spągu czy zawiesi do stropu wyrobiska,
- wyrobisk korytarzowych w samodzielnej obudowie kotwiowej.

Główne zastosowania w kopalniach węgla kamiennego znalazły kotwie, które łączone są ze ścianką otworu wykonanego w skale za pomocą ładunków klejowych. Do powszechnie stosowanych ładunków klejowych należą ładunki żywiczne produkowane na bazie żywic poliestrowych. Do podstawowych korzystnych własności, które posiadają kotwie wklejane za pomocą żywicznych ładunków klejowych, należą miedzy innymi:

- *wysokie parametry wytrzymałościowe ładunków klejowych zapewnione dzięki właściwemu doborowi składników oraz zautomatyzowaną produkcją z systemem kontroli jakości składników i produktu końcowego,*
- *korzystne walory użytkowo- technologiczne ładunków, do których można zaliczyć: łatwy transport, łatwy sposób przechowywania i magazynowania, łatwy dobór ilości ładunków do zadanej długości otworu, łatwy sposób osadzenia w otworze, możliwość różnicowania własności ładunku na długości otworu, dużą trwałość dochodzącą często do 6 miesięcy, bezpieczne warunki użytkowania i inne,*
- *korzystne parametry współpracy pręta kotwiowego, pierścienia klejowego i ścianki otworu w skale w przenoszeniu obciążenia, jakie wywiera niszcząca się warstwa skalna w górotworze,*
- *krótki czas wiązania ładunków zapewniający powiązanie kotwionych warstw skalnych przed ich rozwarstwieniem.*

W niniejszym artykule przedstawiono wyniki badań wytrzymałościowych parametrów wiązania kotwi wklejanych przeprowadzonych w warunkach laboratoryjnych przy uwzględnieniu wpływu na nie wody i zanieczyszczeń skalnych.

2. Badanie transferu obciążenia kotwi wklejanych

2.1. Metoda badawcza

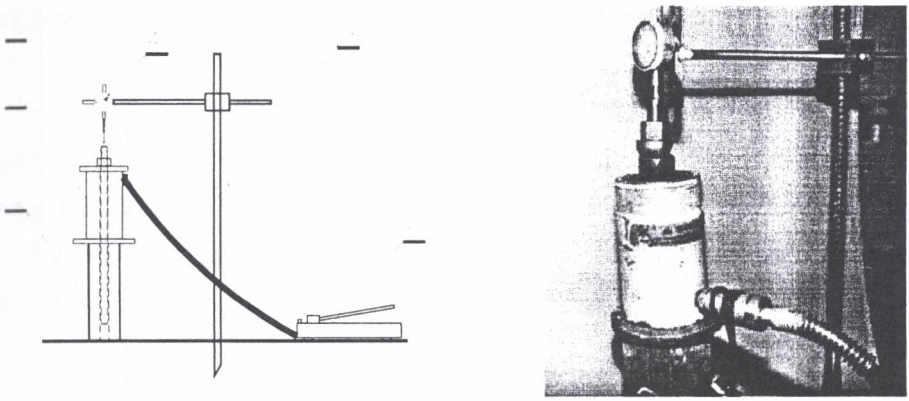
Celem badań laboratoryjnych modelowych transferu obciążenia kotew - górotwór [1,3,4] było określenie wpływu środowiska wiązania ładunków klejowych, a w tym głównie wody i okruchów skalnych na nośność kotwi wklejanej badanej na krótkim odcinku wklejania. W badaniach laboratoryjnych modelowano wklejanie kotwi stalowych w warunkach:

- *stosowania czystego ładunku klejowego (ładunek żyw.),*
- *stosowania ładunku klejowego z pełnym wypełnieniem otworu wodą, (ładunek żyw. + w.),*
- *stosowania ładunku klejowego z pełnym wypełnieniem otworu wodą wraz z okruchami skalnymi (ok. 10% masy ładunku), (ładunek żyw. +w. +sk.).*

Badania prowadzono dla kotwi wykonanych na prętach żebrowanych typu APP o średnicy 22 mm oraz na prętach o średnicy 20 mm ze stali 34 GS, osadzonych w otworach wykonanych w zabetonowanych walcach stalowych o średnicy 100 mm, które były wypełnione zaprawą piaskową na bazie cementu 450 z otworem środkowym wykonanym za

pomocą rurki stalowej o średnicy $\phi 28$ lub $\phi 30$ mm. Długość walców wynosiła 300 mm, a wytrzymałość zaprawy w chwili badania ok. 30 MPa.

Przygotowane pręty kotwiowe o długości ok. 550 mm osadzano w otworach za pomocą ręcznej wiertarki obrotowej. Przed osadzeniem kotwi otwór został zakorkowany jednostronnie żywicą, tak aby nie wypływał ładunek klejowy. Po wypełnieniu otworu ładunkiem klejowym na całej długości zapuszczano kotew, mieszając ją po dojściu do dna otworu przez ok. 8-10 s. Badania prowadzono przez sporządzenie charakterystyki pracy wklejonej części kotwi w układzie siła obciążająca - przemieszczenie końca kotwi analogicznie jak przy badaniu transferu obciążenia kotew – ładunek klejowy – skała w warunkach dołowych. Schemat układu obciążająco - pomiarowego przedstawiono na rys.1.



Rys.1. Schemat i widok układu do badania transferu obciążenia na modelach: 1 - badana kotew, 2 – siłownik hydrauliczny, 3 - walec z otworem, 4 - czujnik do pomiaru przemieszczenia, 5 – statyw, 6 – pompa hydrauliczna

Fig.1. Diagram and view of the system used to investigate a transfer of load on models: 1 – bolt being tested, 2 – hydraulic cylinder, 3 – roll with a bore hole, 4 - sensor for measuring the displacement, 5 – stand, 6 – hydraulic pump. Results of investigation of the load transfer on models

2.2. Wyniki badań

Badania transferu obciążenia kotwi przeprowadzone na modelach w zakresie uzyskanych wyników zestawiono w tablicy 1. W tablicy w sposób systematyczny zestawiono:

- rodzaj badania ze względu na stosowany ładunek klejowy do łączenia kotwi z otworem, średnica otworu w mm, typ pręta stalowego i jego średnica i gwint,
- naprężenie styczne $\tau_l = \tau_{max}$ odpowiadające poziomowi maksymalnej siły otrzymanej w badaniu:

$$\tau_l = \frac{P_{max}}{P \cdot l_{wk} \cdot d_o}$$

- sztywność początkową $$s_p = \frac{P_p}{u_p},$$

gdzie: P_p - siła wyrywania kotwi dla prostoliniowej części charakterystyki pracy,
u_p - przemieszczenie końca kotwi dla prostoliniowej charakterystyki pracy,
S_{rob} - sztywność robocza,

$$S_{rob} = \frac{P_{max} - P_p}{U_{w\,max} - U_{wp}}$$

- skorygowana siła wiązania kotwi

$$P_{sk} = \frac{P_w \cdot 300}{l_{tw}},$$

gdzie: U_{wmax} - maksymalne przemieszczenie wklejonego końca kotwi,
U_{wp} - przemieszczenie kotwi dla prostoliniowej charakterystyki kotwi,
P_w - siła wiązania dla danego badania, którą określono jako wartość odpowiadającą sztywności wiązania 20 kN/mm,
P_{sk} - skorygowana siła wiązania do długości odcinka 300 mm,
l_{tw} – długość wklejonego odcinka kotwi przy badaniu transferu.

Otrzymane wyniki badań zestawiono w zbiorczej tablicy 1, w której przedstawiono następujące wielkości: - numer badania, - rodzaj badania, - średnica/ długość otworu w mm, - rodzaj pręta (średnica) wielkość gwintu, - wartość maksymalnych naprężeń stycznych τ_i w MPa, - sztywność początkowa s_p w kN/mm, - sztywność robocza s_{rob} w kN/mm, - siła wiązania P_w określona dla sztywności teoretycznej s_t = 20 kN/mm wyrażona w kN, - siła wiązania skorygowana P_{wsk} odniesiona do długości odcinka wklejenia kotwi do 30 cm, w kN, - maksymalna siła wyrywania kotwi w trakcie badania P_{max} w kN.

Tablica 1

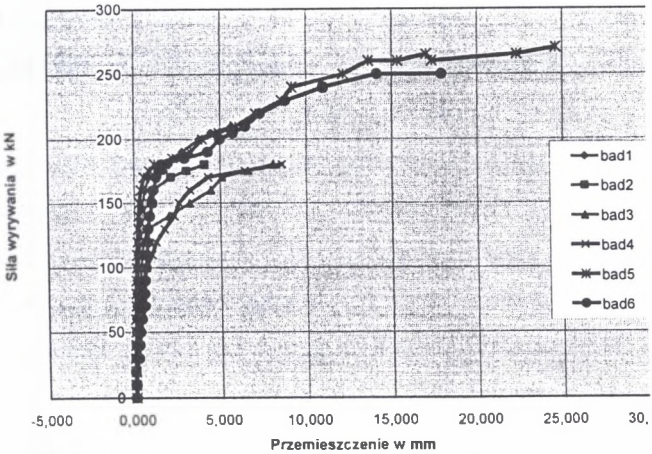
Wyniki badań transferu obciążenia na modelach

Lp.	Rodzaj badania	średnica /długość otworu w mm	pręt typ ϕ w mm	τ_i w MPa	s_p w kN/mm	s_r w kN/mm	P_w w kN	P_{wsk} w kN	P_{max} w kN
1	ładunek żywicz.	28/270	APP 22, M24	8,85	294	11,7	170	189	210
2	ładunek żywicz.	28/240	APP 22, M24	8,53	275	5,6	160	200	180
3	ładunek żywicz.	28/260	34GS20, M20	8,31	226	8,4	130	150	190
4	ładunek żywicz.	30/230	APP 22, M24	7,85	150	<0	150	195,6	170
5	ładunek żywicz.	28/280	APP 22, M24	10,9	286	4,1	170	182,5	270
6	ładunek żywicz.	28/240	APP 22, M24	11,3	142,2	5,95	180	225	260
7	ładunek żyw.+ w.	28/260	APP 22, M24	8,1	339,9	3,65	160	184	185

cd. tablicy 1

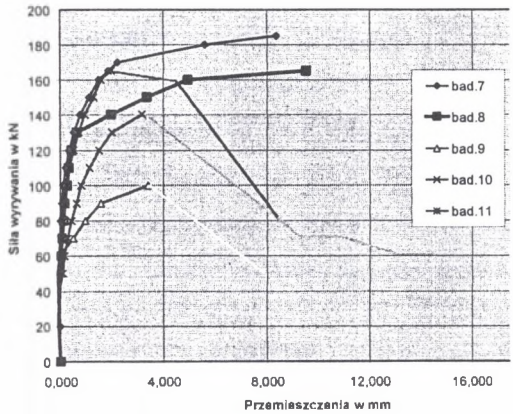
8	ładunek żyw.+.w.	28/260	34GS20, M20	7,2	271	4,96	130	150	165
9	ładunek żyw.+w.	30/230	APP22, M24	4,6	81,7	< 0	80	104	100
10	ładunek żyw.+w.	28/230	APP22, M24	6,9	122,4	<0	120	156	140
11	ładunek żyw.+w.	28/240	APP 22, M24	8,0	230	<0	170	212,5	170
12	ładunek żyw.+ w +sk.	28/260	APP 22, M24	2,62	xxx	xxx	40	46,1	60
13	ładunek żyw.+ w.+sk.	28/260	34GS20, M20	0,87	29,1	2,7	10	11,50	20
14	ładunek żyw. + w.+sk.	30/230	APP22, M24	1,6	35,8	< 0	35	45	35
15	ładunek żyw.+w.+sk.	28/280	APP22, M24	xxxx	xxxx	xxxxx	10	10	10
16	ładunek żyw.+w.+sk.	28/240	APP22, M24	1,4	357	2,48	30	37,5	30

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów przemieszczenia końca kotwi i siły wykonano wykresy obrazujące charakterystykę pracy połączenia pręta kotwi ze ścianką otworu, które przedstawiono na rys.2,3,4.



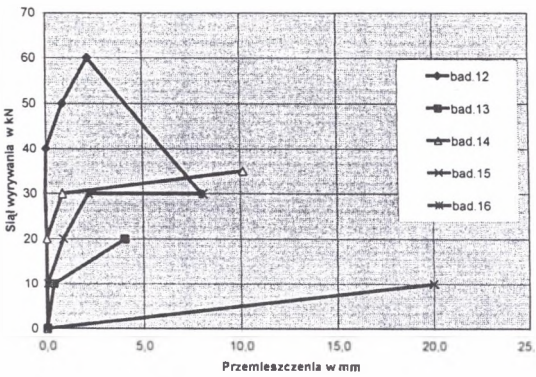
Rys.2. Wykresy obciążenia kotwi w funkcji przemieszczenia na odcinku wklejenia dla kotwi wklejonych za pomocą czystego ładunku klejowego (1 do 6 z tablicy 1)

Fig. 2. Diagrams of a bolt load versus displacement along the bonded length for bolts being bonded with pure adhesive cartridge (1 to 6 from table 1)



Rys.3. Wykresy obciążenia kotwi w funkcji przemieszczenia na odcinku wklejenia dla kotwi wklejonych za pomocą ładunku klejowego z pełnym wypełnieniem otworu wodą (bad nr 7 do 11 z tablicy 1)

Fig. 3. Diagrams of a bolt load versus displacement along the bonded length for bolts being bonded with the adhesive cartridge when the bore hole is filled with water (test no 7 to 1 from table 1)



Rys.4.Wykresy obciążenia kotwi w funkcji przemieszczenia na odcinku wklejenia dla kotwi wklejonych za pomocą ładunku klejowego z pełnym wypełnieniem otworu wodą wraz z okruchami skalnymi. (bad. 12 do 16 z tablicy 1)

Fig 4. Diagrams of a bolt load versus displacement along the bonded length for bolts being bonded with the adhesive cartridge when the bore hole is filled with water containing rock particles (test no 12 to 16 from table 1)

2.3. Analiza wyników badań

Uzyskano wysokie parametry transferu kotew-klej-otwór dla przypadku, gdy otwór jest wypełniony czystym ładunkiem klejowym. Obserwuje się wyraźny spadek parametrów transferu, jeżeli w otworze znajduje się woda lub woda z okruchami skalnymi (zwiercinami). Parametry transferu, w przypadku gdy w otworze znajduje się woda, spadają w przedziale 10 do 25%, a gdy dodatkowo znajdują się w nim zwierciny w przedziale 60 do 70%. (Przy dużej ilości zwiercin w otworze siła wiązania spada praktycznie do 0).

Niekorzystnym wynikiem badań jest uzyskanie niskiej sztywności roboczej, nawet przy czystym ładunku żywicznym, co może być spowodowane badaniem na gładkich ściankach otworu. Dla badań, gdy kotew jest związana ładunkiem klejowym z pełną ilością wody lub z wodą i okruchami skalnymi, obserwuje się, że kotew po osiągnięciu maksymalnej wartości siły wyrywania przenosi małe obciążenie silnie malejące ze sztywnością roboczą ujemną.

Wynik taki praktycznie oznacza, że spolimeryzowana żywica z wodą lub z wodą i okruchami skalnymi ulega zniszczeniu i stawia znacznie mniejszy opór (tarcie) przy danym obciążeniu kotwi. Zarówno woda, jak i woda z okruchami skalnymi pogarsza własności odkształceniowe pierścienia klejowego łączącego kotew ze ścianką otworu.

Średnica otworu w zdecydowany sposób wpływa na nośność kotwi. Mimo przeprowadzenia małej ilości badań z tego zakresu trzeba stwierdzić, że parametry kotwienia są znacznie większe przy średnicy otworu ϕ 28 mm w stosunku do ϕ 30 mm. Przykładowo, przy ładunku kotwiowym z pełną ilością wody średnia siła wiązania wynosi P_{wsk} = 184 kN dla otworu ϕ 28 mm, a dla otworu ϕ 30 mm wynosi 104 kN (jest mniejsza o 44%) Średnica otworu również istotnie wpływa na wartość naprężeń stycznych.

Badania prętów ϕ 20 mm w stali 34GS wykazały, że zapewniają one parametry transferu korzystne dla przenoszenia większych obciążeń. Zapisywanie dla tych prętów średnic otworów w przedziale ϕ 25,5 do ϕ 26 mm powinno zapewnić ich wysoką nośność porównywalną z nośnością prętów ϕ 22 mm.

3. Wnioski końcowe

1. W celu uzyskania wysokich parametrów przenoszenia obciążenia przez pręt kotwiowy istnieje konieczność realizacji technologii kotwienia eliminującej wodę i zanieczyszczenia skalne z otworu kotwiowego.
2. Woda, jak i zwierciny skalne w sposób zdecydowany wpływają na parametry kotwienia, obniżając ich wartość oraz zmianę charakterystyki pracy kotwi.
3. Do oceny jakości technologii kotwienia stosowanej w kopalni należy prowadzić badania połączenia kotew - klej – skała na krótkim odcinku wklejenia, z wykonaniem charakterystyki pracy kotwi wklejanej, tak aby w sposób miarodajny w rzeczywistych warunkach uwzględnić wszystkie czynniki wpływające na jej wartości i przebieg.

LITERATURA

1. Drzęźla B., Głuch P.: Siła wiązania kotwi wklejanych. WUG , Miesięcznik Wyższego Urzędu Górniczego, nr7/97.
2. Hoek. E., Kaiser. P.K., Bawden.W.F.: Support of Underground Excavations in Hard Rock, 1995.
3. Głuch P.: Wpływ parametrów techniczno-technologicznych na nośność kotwi wklejanych cz.I. Parametry techniczne kotwi i ładunków klejowych. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska Górniczego nr12 1998 i cz. II Parametry technologiczne nr1, 1999.
4. Głuch P., Masiakiewicz M., Stachowicz St.: Badania parametrów transferu obciążenia kotew – klej – skała dla oceny przydatności systemu kotwienia. XXI Zimowa Szkoła Mechaniki Górotworu, 1998.
5. Stillborg B.: Profesional users handbook for rock bolting. Trans Tech Publications, 1986.
6. Stopyra M., Stasica J., Rak Z.: Wpływ środowiska otworu wiertniczego na siłę utwierdzenia kotwi wklejanej. Materiały Konferencji Szkoły Eksploatacji Podziemnej, 2000.

6. Stopyra M., Stasica J., Rak Z.: Wpływ środowiska otworu wiertniczego na siłę utwierdzenia kotwi wklejanej. Materiały Konferencji Szkoły Eksploatacji Podziemnej, 2000.

Recenzent: Prof dr hab. inż. Stanisław Piechota

Abstract

The laboratory test of the load transfer: bolt – adhesive – rock have been carried out on concrete rolls when determining the effect of water and rock impurities on parameters of the transfer such as: maximum force of pulling out of the bolt, maximum tangential stresses on the hole wall, initial and working rigidity of bonding of the bolt in the hole, bonding power of the bolt for rigidity of 20 kN/mm. In order to assure high parameters of load transferring trough a bolt rock it is necessary to apply the bolting technique which allows water and rock impurities to be eliminated from the bore hole. Both water and rock particles have an evident effect on bolting parameters witch manifests itself in lowering of their values and in changing of performance characteristic of bolts. On the example of solutions presented in the paper it is possible to perform investigations witch enable the assessment of the applied technique and of possibilities of eliminating the disadvantageous factor affecting the performance characteristic of an adhesive bonded bolt.