ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1977

Seria: GÓRNICTWO z. 83 Nr kol. 551

Walery SZUŚCIK
Jerzy KUCZYŃSKI

SPOSOBY BADAŃ STROPNIC I SPĄGNIC OBUDÓW ZMECHANIZOWANYCH

Streszczenie. W pracy omówiono sposoby badań stropnic i spągnic typu płytowego obudów górniczych, tzn. metodę kruchych pokryć, metodę tensometryczną oraz badania niszczące. W wyniku przeprowadzonych rozważań teoretycznych i badań doświadczalnych celowe okazały się badania niszczące z wykorzystaniem kruchych pokryć. Jedyną celową metodą obliczeń stropnic i spągnic obudów górniczych jest metoda nośności granicznej.

1. Wprowadzenie

Jak wykazuje praktyka konstrukcyjno-ruchowa, przy projektowaniu nowych konstrukcji stropnic i spągnic obudów zmechanizowanych, w związku ze złożonością ich kształtów jak i trudnościami obliczeniowymi (konieczność zastosowania pewnych uproszczeń) - wyniki teoretycznych obliczeń powinny być skonfrontowane i poparte odpowiednimi wynikami zaczerpniętymi z badań laboratoryjnych omawianych elementów obudów względnie też całego obiektu.

Realizację badań można przeprowadzać na specjalnie skonstruowanym stanowisku badawczym, przystosowanym do mocowania i obciążenia pojedynczych stropnic i spągnic konkretnych typów obudów zmechanizowanych. Konstrukcja stanowiska powinna być tak zaprojektowana, aby stworzyć badanemu elementowi obudowy (niekoniecznie całej sekcji) pod względem wytrzymałościowym warunki zbliżone do rzeczywistych. Tak więc badając pojedynczą stropnicę lub spągnicę na odpowiednio skonstruowanym stanowisku badawczym otrzymuje się wyniki badań takie same jak przy badaniach stropnic i spągnic zamontowanych w poszczególnych sekcjach, przy jednocześnie znacznie prostszej konstrukcji stanowiska badawczego i jednocześnie bezpieczniejszej jego obsłudze.

Stanowisko badawcze powinno być również przystosowane do możliwości przeprowadzenia na nim prób niszczących, nieodzownie związanych z metodą projektowania na dopuszczalny udźwig.

Zagadnienie określenia wielkości rzeczywistych naprężeń i odkształceń występujących w elementach obudów zmechanizowanych pociąga za sobą konieczność określenia wielkości możliwych ich obciążeń. Zagadnienie to, wraz z przykładowo przedstawionymi powierzchniami wpływów, określającymi wzajemną zależność reakcji na podporach, oddziaływań w uchach, jak również sił

obciążających i ich kolejnych możliwych położeń, zostało opracowane i szerzej omówione w pracach [1], [2].

Jedną z efektywniejszych metod doświadczalnej analizy stanu naprężenia, opierającej się na pomiarach odkształceń, są pomiary dokonywane przy użyciu tensometrycznych czujników oporowych. Przed przystąpieniem do pomiarów należy możliwie jak najtrafniej ustalić rozmieszczenie tensometrów. W większości przypadków dokonuje się tego w oparciu o intuicję inżynierską, co nie zawsze daje pożądane rezultaty, gdyż przeważnie nieznane są czynniki, które pozwoliłyby na stuprocentowe wytypowanie najbardziej wytężonych miejsc w badanym elemencie.

Istnieje więc poważne ryzyko pominięcia w analizie stanu naprężenia miejsc, które decydują o wytrzymałości wyrobu. Ze względu na koszty badań tensometrycznych, jak również na pewność wykrycia niebezpiecznych miejsc, korzystne jest przeprowadzenie wstępnego rozpoznania stanu naprężenia, którego celem byłoby wytypowanie punktów pomiarowych właściwych badań tensometrycznych. Pozwala na to metoda badań za pomocą kruchych pokryć, która powinna być stosowania łącznie z badaniami tensometrycznymi.

Dwie powyższe metody badań dotyczą analizy naprężeń w stanie sprężystym, co nie zawsze ma miejsce w przypadku pracy tych elementów w warunkach ruchowych.

W pracy [1] przeprowadzono rozważania teoretyczne nad możliwością zastosowania przy projektowaniu stropnic płytowych - metod projektowania na dopuszczalne naprężenie, a mianowicie:

- rozwiązań ścisłych równania Z. Germaina,
- metody Rayleigha - Ritza
- metody elementów skończonych.

W pracy tej stwierdzono dużą niedoskonałość i małą przydatność omówionych metod obliczeń dla bardziej skomplikowanych przypadków obciążeń i kształtów stropnic płytowych.

Wstępna analiza teoretyczna wykazała także, że w rozpatrywanych stropnicach istnieje możliwość wystąpienia naprężeń znacznie przekraczających naprężenia na granicy proporcjonalności, a nawet plastyczności. W takim przypadku metoda projektowania na dopuszczalne naprężenie, pozwalająca na określenie naprężeń i odkształceń w omawianych elementach obudów zmechanizowanych staje się nieprzydatna.

W takim stanie rzeczy, chcąc wykonać obliczenia sprawdzające lub projektowe stropnic lub spągnic, należy korzystać z obliczeń metodą projektowania na dopuszczalny udźwig.

Warunkiem nieodzownym przy posługiwaniu się tą metodą jest znajomość mechanizmu zniszczenia ustroju płytowego stropnicy czy też spągnicy, będącego skutkiem działania sił. Dla przypadków obciążeń stropnic i spągnic, dla których mechanizm zniszczenia można wyznaczyć na drodze teoretycznej, przy uwzględnieniu również ortotropowości konstrukcji płyty, obliczenia metodą projektowania na dopuszczalny udźwig nie nastręczają większych trud-

ności. Jednak, jak wykazała praktyka, dla większości pozostałych przypadków obciążeń, mechanizm zniszczenia jest do wyznaczenia tylko na drodze doświadczalnej, przeprowadzając próby niszczące na odpowiednio skonstruowanym stanowisku badawczym.

Tak więc badania doświadczalne stropnic i spągnic sprowadzą się do:

a) poszukiwania punktów maksymalnie wytężonych za pomocą kruchych pokryć,
b) pomiaru wielkości naprężeń za pomocą czujników elektrooporowych,
c) poznania mechanizmu zniszczenia za pomocą badań niszczących.

2. Metoda kruchych pokryć jako metoda wyznaczania punktów maksymalnie wytężonych

Metoda badań za pomocą kruchych pokryć jest przybliżoną metodą określania rozkładu i kierunków naprężeń w badanym elemencie konstrukcyjnym. W metodzie tej powierzchnię badanego materiału (całej konstrukcji, jej fragmentu względnie modelu) pokrywa się warstwą kruchej substancji ściśle przylegającej do jej powierzchni. W wyniku obciążenia elementu w warstwie kruchego pokrycia pojawiają się układy spękań powierzchni w kierunkach prostopadłych do kierunków największych wydłużeń jednostkowych. Przyjmując, że kruche pokrycie jest materiałem izotropowym, kierunki naprężeń głównych σ_1, σ_2, σ_3 pokrywają się z kierunkami głównymi odkształceń jednostkowych ε_1, ε_2, ε_3. Ponieważ spękania kruchego pokrycia są prostopadłe do linii maksymalnych odkształceń, są więc one również prostopadłe do kierunków największych naprężeń głównych. W miarę wzrostu odkształceń wzrasta liczba spękań przypadająca na jednostkę długości. Posługując się przyrządem (wraz z odpowiednimi próbkami wzorcowymi) do wzorcowania kruchych pokryć, można dokonać ilościowej oceny wartości naprężeń głównych rozciągających.

Jak wykazały badania [1], [2] oraz inne badania przeprowadzone przez autora, jak również ostatnio przedstawione w publikacji [3], uzyskany obraz rozkładu i kierunków naprężeń oraz miejsc ich spiętrzenia na kruchym pokryciu jest wystarczająco dokładny dla wytypowania obszarów, na których mają być w fazie wtórnej zamocowane czujniki elektrooporowe.

Dzięki temu przy zastosowaniu minimalnej ilości czujników uzyskamy możliwie najdokładniejszy obraz faktycznego rozkładu naprężeń.

Badania metodą kruchych pokryć posiadają również i inne zalety, do których można zaliczyć:

- prostotę samych badań, nie wymagających skomplikowanej aparatury pomocniczej,
- możliwość określenia rozkładu naprężeń w elementach o skomplikowanych kształtach konstrukcyjnych, których przeliczenie jest niejednokrotnie niewykonalne,

- skrócenie czasu trwania i kosztów wtórnych badań tensometrycznych dzięki uzyskaniu wystarczająco dokładnego obrazu przebiegu maksymalnych naprężeń w badanym materiale,
- dokonanie niewielkich zmian składu substancji kruchego pokrycia, zwiększających lub zmniejszających kruchość, umożliwia poddanie badaniom elementów niemetalowych, np. wykonanych z tworzyw sztucznych,
- wyniki ilościowej oceny naprężeń metodą kruchych pokryć są zbieżne z wynikami pomiarów tensometrycznych, nawet przy uproszczonym sposobie wykonywania kruchego pokrycia.

Metoda ta pomimo swych niezaprzeczalnych zalet nie jest metodą popularną i szeroko stosowaną. Przyczyny tego faktu należy szukać w kłopotach związanych z technologią wykonania kruchego pokrycia jak i w samym jego składzie chemicznym. Do tej pory opracowano kilka receptur i rodzajów kruchych powłok [3], w większości opartych na kalafonii, albertorze, iditolu, oraz żywicach sztucznych z dodatkami modyfikującymi kruchość pokrycia. Jednak dokładne receptury i składy chemiczne są w większości przypadków chronione tajemnicami firmowymi, a informacje literaturowe są ubogie i trudne do praktycznego wykorzystania.

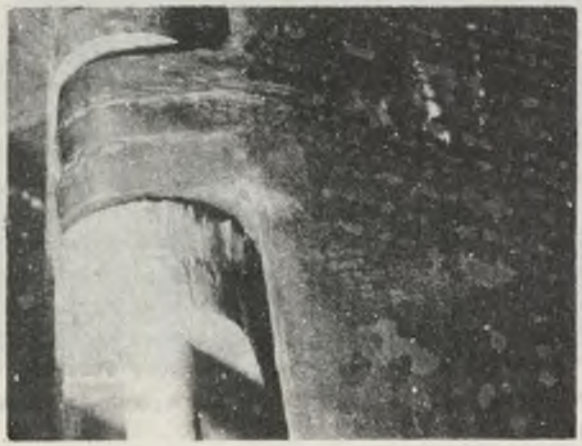
Autor przeprowadził badania własności mechanicznych szeregu kruchych pokryć o różnych recepturach celem określenia receptury właściwej kruchemu pokryciu spełniającemu żądane własności mechaniczne. Jak wykazały próby, najlepsze własności wykazywało kruche pokrycie bazujące na kalafonii i dwusierczku węgla jako rozpuszczalniku. W przypadku prowadzenia badań w pomieszczeniach zamkniętych ww. pokrycie nie może być stosowane ze względu na przykry zapach dla otoczenia oraz dużą toksyczność. Dalsze próby uzyskania odpowiedniego kruchego pokrycia poszły w kierunku otrzymania odpowiedniego modyfikatora kalafonii. Stwierdzono doświadczalnie, że najlepsze założone własności spełnia mieszanina kalafonii z panatinolem C w stosunku wagowym 380 g:1g, wytworzona w temperaturze 160°C.

Przystępując do realizacji badań, należy dokładnie oczyścić stropnice lub spągnice z zendry, lakieru i rdzy, następnie, po odpowiednim odtłuszczeniu powierzchni np. trójchloroetylenem, należy podgrzać cały badany element przy pomocy palników acetylenowych do temperatury 140 ± 20°C, starając się nagrzewać równomiernie kilkoma ruchomymi palnikami równocześnie, aby uniknąć niepożądanych wstępnych naprężeń termicznych. Równolegle przygotowuje się substancję kruchego pokrycia, którą po podgrzaniu do temperatury 160 ± 10°C nakłada się pistoletem względnie miękkim pędzlem na powierzchnię stropnicy względnie spągnicy warstwą nie przekraczającą grubości 2.10^{-4} [m] - w miarę możliwości dokładnie i równomiernie (grubość i niejednorodność warstwy pokrywającej powierzchnię ma pewien wpływ na wynik pomiarów).

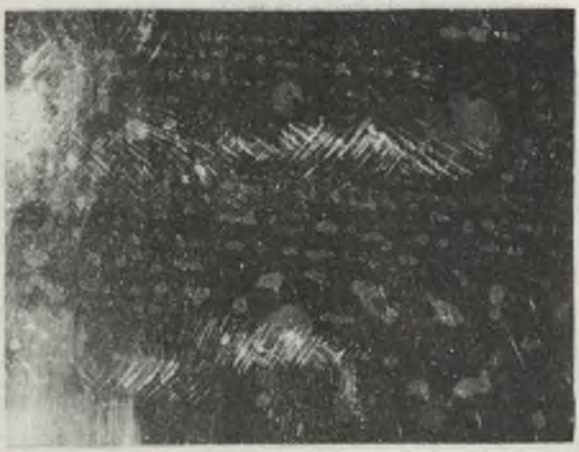
Ważną również czynnością w procesie przygotowawczym jest chłodzenie elementu pokrytego kruchą powłoką, które powinno odbywać się w temperatu-

rze otoczenia w sposób równomierny i powolny. Omawiane kruche pokrycie posiada najlepsze żądane własności mechaniczne dla przeprowadzenia badań w temperaturze ok. 20°C.

Pęknięcia kruchego pokrycia podczas badań stropnic obudowy zmechanizowanej KRAB przykładowo ilustrują zdjęcia przedstawione na rysunkach 1 i 2.



Rys. 1. Pęknięcia kruchego pokrycia w wyniku spiętrzenia naprężeń wokół ucha stropnicy



Rys. 2. Charakterystyczne pęknięcia kruchego pokrycia na powierzchni stropnicy wzdłuż przyspawanych żeber rusztu wzmacniającego skrzynkę stropnicy

3. Metoda badań za pomocą czujników tensometrycznych

Badania laboratoryjne stropnic i spągnic obciążonych statycznie za pomocą kruchych pokryć miały za zadanie wskazać obszary o przypuszczalnej koncentracji naprężeń. O wielkości tych naprężeń można zorientować się tylko szacunkowo w oparciu o analizę ilościową spękań kruchego pokrycia (chcąc określić szacunkowo wartość naprężeń, należy uprzednio wycechować kruche pokrycie, tzn. znaleźć funkcję ilości spękań n = n(σ).

Dokładny natomiast pomiar naprężeń jest możliwy do dokonania za pośrednictwem czujników elektrooporowych. Chcąc uzyskać dokładne wykresy naprężeń na całej powierzchni badanej stropnicy należałoby sporządzić odpowiednią siatkę i w każdym jej węźle umieścić zestaw czujników elektrooporowych. Byłoby to pracochłonne, kosztowne i trudne do zrealizowania (ze względu na dużą ilość punktów pomiarowych).

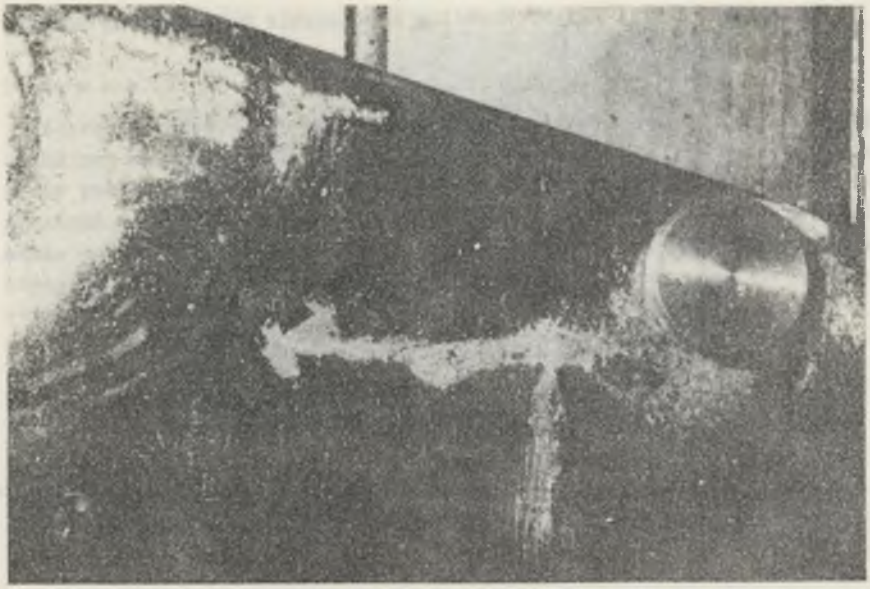
Z drugiej strony, ponieważ zazwyczaj konstruktora interesują obszary ekstremalnych naprężeń, niecelowe byłoby zagęszczanie punktów pomiarowych w miejscach o minimalnych naprężeniach lub przynajmniej takich, które nie rzutują na wytrzymałość całej konstrukcji. Tak więc metoda kruchych pokryć zaoszczędza tej czynności, gdyż wykazuje z góry obszary najbardziej wytężone, a chcąc uzyskać ich wartość liczbową, w tych tylko miejscach umieszcza się czujniki elektrooporowe.

W ten sposób pomiar jest bardziej efektywny i ekonomiczny, jak również eliminuje się ryzyko pominięcia w analizie stanu naprężenia miejsc, które mogą decydować o wytrzymałości stropnicy lub spągnicy. Sama technika pomiarów tensometrycznych jest na ogół znana i w związku z tym nie będzie tu omawiana.

4. Metoda badań niszczących za pomocą kruchych pokryć

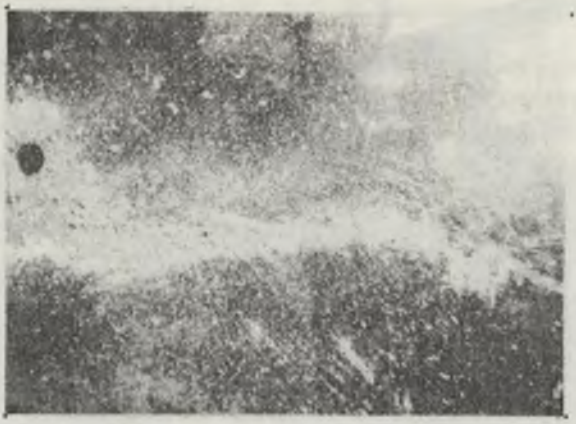
Jak już wcześniej wspomniano, nieodzownym warunkiem przy posługiwaniu się metodą obliczeń na dopuszczalny udźwig jest znajomość mechanizmu zniszczenia ustroju. Dla stropnic i spągnic obudów zmechanizowanych, mechanizm zniszczenia np. stropnic typu belkowego jest z reguły łatwy do wyznaczenia, natomiast dla stropnic typu płytowego można go uzyskać na ogół na drodze doświadczalnej, podczas przeprowadzania prób niszczących na odpowiednim stanowisku badawczym.

Dużą pomocą w trakcie badań niszczących, umożliwiających poznanie mechanizmów zniszczeń, jest zastosowanie kruchych pokryć. Powierzchnia pokryta kruchą powłoką, pod wpływem obciążenia, bardzo szybko i dokładnie ujawnia mechanizm zniszczenia. Pojawianie się mechanizmu zniszczenia podczas badań stropnic płytowych obudowy zmechanizowanej KRAB pokazują przykładowo zdjęcia przedstawione na rysunkach 3, 4 i 5.



Rys. 3. Spękanie kruchego pokrycia, ukazujące zarysowujący się mechanizm zniszczenia

Rys. 4. Narastanie spękań kruchego pokrycia pod wpływem zwiększającego się obciążenia wraz z fragmentem powstającego mechanizmu zniszczenia



Rys. 5. Inny rodzaj pęknięć kruchego pokrycia z zaznaczającą się linią załomu

5. Omówienie wyników badań

W wyniku przeprowadzonych rozważań teoretycznych i ww. badań laboratoryjnych na stropnicach płytowych obudowy KRAB [1] można jednoznacznie stwierdzić, że dla stropnic obudowy górniczej niecelowe jest przeprowadzanie obliczeń na dopuszczalne naprężenie oraz przeprowadzanie badań tensometrycznych.

Badania tensometryczne mogą być użyte jako badania pomocnicze szczególnie na połączeniach stropnicy.

Obliczenia należy przeprowadzać metodą na dopuszczalny udźwig, a badania za pomocą kruchych pokryć i badań niszczących i z ich użyciem.

Zrealizowana w pracy metoda badań za pomocą kruchych pokryć daje możliwość dokładnego określenia mechanizmu zniszczenia badanej konstrukcji.

LITERATURA

[1] Kuczyński J.: Optymalizacja parametrów wytrzymałościowych stropnic płytowych obudów zmechanizowanych. Praca doktorska, Politechnika Śląska, Gliwice 1975.

[2] Szuścik W., Kuczyński J.: Określenie obciążeń stropnic obudowy zmechanizowanej. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, "Górnictwo" nr 59, Gliwice 1974.

[3] Praca zbiorowa pod red. Orłosia Z.: Doświadczalna analiza odkształceń i naprężeń, PWN, Warszawa 1977.

СПОСОБЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЕРХНЯКОВ И МЕХАНИЗИРОВАНЫХ ЛЕЖНЕЙ КРЕПЛЕНИЙ

Р е з ю м е

В статье рассмотрены способы исследований верхняков и лежней горных креплений так называемым методом хрупких покрытий, тензометрическим методом, а также разрушающие исследования. В результате проведённых теоретических рассуждений и экспериментальных исследований целесообразным оказались исследования разрушающие с использованием хрупких покрытий. Единственным целесообразным методом вычислений верхняков и лежней горных креплений является метод горной несущей способности.

METHODS OF TESTING MECHANISED LININGS GROUND BRACES AND ROOF BARS

S u m m a r y

The paper presents means of ground brace and roof bar testing in mining linings by using brittle covers, tensometrically and destructively. In the course of theoretical considerations and experimentation it appeared that most useful were destructive tests with the use of brittle covers. The only suitable calculating method for ground braces and roof bars is the load limits method.