

УДК 622.28.042

Хворост В. В., канд. техн. наук,
Бровко Д. В., канд. техн. наук
(Державний ВНЗ «КНУ»)

**ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКЦІЙ МЕТАЛЕВОГО АРОЧНОГО
КРІПЛЕННЯ В УМОВАХ КРИВОРІЗЬКОГО
ЗАЛІЗОРУДНОГО БАСЕЙНУ**

Хворост В. В., канд. техн. наук,
Бровко Д. В., канд. техн. наук
(Государственное ВУЗ «КНУ»)

**ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ АРОЧНОЙ
КРЕПИ В УСЛОВИЯХ КРИВОРОЖСКОГО
ЖЕЛЕЗОРУДНОГО БАСЕЙНА**

Khvorost V. V., Ph.D. (Tech.),
Brovko D. V., Ph.D. (Tech.)
(State HEI «KNU»)

**STUDY OF STEEL ARCH SUPPORT DESIGNS IN THE KRYVBAS
IRON-ORE FIELD**

Анотація. Під час досліджень розглядалися проблеми зміни міцнісних характеристик арочного металевго кріплення в умовах довготривалої експлуатації в агресивному шахтному середовищі.

Ефективність використання металу для кріплення виробок істотно знижується через його корозійні властивості. Агресивні шахтні і підземні води, волого насичене середовище, в якому знаходиться кріплення, наявність блукаючих струмів, а також інтенсивний обмін повітря в виробках сприяють виникненню окислювальних процесів в металі. Результатом цього є швидкий, протягом 7 - 10 років, вихід металевго кріплення з ладу. За допомогою програмно-обчислювального комплексу була побудована тривимірна модель для досліджень арочного металевго шахтного кріплення. Данні, що використовувались під час досліджень, відповідають гірничо-геологічним умовам Криворізького басейну.

Дослідження показали, що напруження в рамі знаходяться в прямопропорційній залежності від величини корозії та терміну експлуатації. Побудовані графічні залежності, за результатами досліджень, дають змогу якісно визначити оптимальний профіль кріплення для встановлених вимог.

Ключові слова: шахтне кріплення, напруження, несуча здатність.

Для горизонтальних виробок шахт Кривбасу найчастіше використовують монолітне бетонне кріплення, штангове кріплення, набризгбетонне з анкерами та піддатливе арочне металеве кріплення. Застосування металевго кріплення висуває підвищені вимоги до розрахунків паспортів кріплення, які повинні забезпечувати не тільки безремонтне підтримання виробок, а й економне обґрунтування витрат дефіцитного металу. Тому очевидно, що подальше зниження матеріальних і трудових витрат на підтримку підготовчих виробок може бути

досягнуто за рахунок вдосконалення конструкцій кріплень і методів їх проектування. Збільшення несучої здатності кріплення особливо важливе для забезпечення підвищеної безпеки проведення робіт у шахті. Несуча здатність кріплення залежить від форми і виду кріплення, від величини і форми профілю, а також від матеріалу, з якого виготовлене кріплення, і стабільної роботи вузлів піддатливості [2].

За тривалий час проходки гірничих виробок в Кривбасі добре зарекомендувало себе аркове рамне металеве кріплення з взаємозамінного профілю (СВП). У процесі експлуатації СВП ефективність використання металу для кріплення виробок істотно знижується через його корозійні властивості. Агресивні шахтні і підземні води, волого насичене середовище, в якому знаходиться кріплення, наявність блукаючих струмів, а також інтенсивний обмін повітря в виробках сприяють виникненню окислювальних процесів в металі. Результатом цього є швидкий, протягом 7 - 10 років, вихід металевої кріплення з ладу.

Таким чином, проблема змін міцнісних характеристик арочного металевого кріплення в умовах довготривалої експлуатації в агресивному шахтному середовищі є актуальним напрямом досліджень.

Активному протіканню процесу корозії сприяє вуглекислий і особливо сірчистий газ, хлористий водень, різні види солей.

Захист від корозії слід починати з правильного підбору хімічного складу і структури металу. При конструюванні необхідно уникати форм, що сприяють акумулюванню вологи. Для захисту металу від корозії застосовують різні способи: металізація, оксидування, фосфатування тощо.

Арочне металеве кріплення представлено в двох формах: підковоподібна та коробова з вертикальними стінками. Оскільки на шахтах Кривбасу основним профілем є СВП-27, то було проведено дослідження і порівняння профілів СВП-22 і СВП-27 з метою спроби здешевити собівартість 1 м. п виробки при кріпленні даним видом кріплення. Для проведення дослідження була використана форма коробового зводу з вертикальними стінками.

Профілі СВП служать в більшості випадків для виготовлення арочних і кільцевих кріплень податливої конструкції. Ці профілі мають приблизно однакові моменти опору згину в обох головних площинах, що забезпечує їм підвищений опір згину з площини рами. Однак, лоткові профілі, як тонкостінні стержні, характерні тим, що в них внаслідок складного згину і кручення виникають дотичні напруження, що мають той же порядок величин, як і нормальні напруження.

Аналітичні дослідження, підтверджені експериментально, показали, що слабкий опір кріплень зі спецпрофілю крученню при складних просторових навантаженнях призводить до великих переміщень контуру кріплення [2]. При цьому нормальні напруження збільшуються на 30% порівняно з плоскою розрахунковою схемою, а максимальні дотичні напруження вільного кручення часто є причиною втрати несучої здатності кріплення. Було встановлено, що головною причиною втрати несучої здатності металевого кріплення з тонкостінних елементів відкритого профілю є недостатня крутильна жорсткість. Встановлено також, що підвищення несучої здатності за рахунок збільшення моменту опору

згину з площини кріплення не дає відчутного ефекту і призводить до невиправданого збільшення витрати металу [1].

Доцільним напрямом вдосконалення металевих кріплень для складних гірничо-геологічних умов слід вважати різке збільшення їх опору крученню, а також підвищення відношення моменту опору згину в площині дії основного навантаження (у площині кріплення) до моменту опору при згині з цієї площини.

Кріплення підготовчих виробок працює в особливих умовах, коли не можна точно визначити величину і напрямок діючого навантаження. Тому при виборі профілю необхідно оцінити його несучу здатність на ділянці пластичних деформацій і розраховувати кріплення за граничним станом.

На вітчизняних шахтах застосовують такі види аркових кріплень: податливу - у виробках зі значним зміщенням гірських порід; жорстку - у виробках зі сталим гірським тиском.

Металева арка податливого аркового кріплення виготовляється з прокату спеціального жолобчастого профілю складається з верхнього сегмента «верхняка» і двох бічних криволінійних стійок. Стійки з «верхняком» з'єднуються за допомогою двох скоб з ланками внакладку; кожна арка з'єднується з сусідньою трьома стяжками (розпірками). Податливість кріплення при навантаженні здійснюється за рахунок зміщення кінців «верхняка» в бічні стійки арочного кріплення.

В даний час для виготовлення металевих рамних кріплень застосовується, головним чином, лоткові профілі прокату СВП з гарячекатаної сталі марки Ст5сп або низьколегованих сталей. Випускаються профілі шість типорозмірів: 14, 17, 19, 22, 27 і 33 кг/м.

Несуча здатність трьохланкової арки кріплення з болтовими податливими вузлами, в залежності від типорозміру спецпрофілю і розмірів виробки, становить в період податливості - 137-216 кН, а після вичерпання податливості (жорсткий режим) - 300 кН. Величина податливості в цей період складає у сумі до 0,3 м. Також зустрічаються конструкції аркового кріплення з безболтовими (кулачковими і клиновими) податливими вузлами і чотирьохланковою кріпильною аркою («верхняк» складається з двох частин за допомогою введення додаткового піддатливого вузла). Аркове кріплення цієї конструкції має велику несучу здатність (в податливому режимі) і податливість (до 0,6 м), а чотирьохланкова арка, крім того, ще й бічну податливість (до 0,4 м).

Арка жорсткого аркового кріплення виготовляється з двотаврових балок або рейок; складається з двох криволінійних елементів які жорстко з'єднуються в вершині склепіння за допомогою планок і болтів. Планки плоскі (зі штабового заліза) або фігурні (литі або штамповані), передають навантаження безпосередньо на полиці двотаврових балок і захищають тим самим болти від зрізу.

Для розрахунку була змодельована просторова модель рами з профілю СВП-22 (рис. 1). Для подальших розрахунків модель рами приймаємо суцільною, без врахування замків. Для розрахунку рами, в якості матеріалу, приймаємо сталь Ст5сп по ДСТУ 2651:2005 характеристики якої наведено в табл. 1.

Таблиця 1 - Характеристика сталі Ст5сп ДСТУ 2651:2005

Межа текучості [МПа]	320
Модуль пружності нормальний [МПа]	210000
Коефіцієнт Пуассона	0.3
Щільність [кг/м ³]	7850
Температурний коефіцієнт лінійного розширення [1/С]	0.000012
Межа міцності при стисненні [МПа]	490
Межа витривалості при розтягненні [МПа]	245
Межа витривалості при крученні [МПа]	123



Рисунок 1 - Просторова модель рами аркового металевого кріплення з профілю СВІ-22

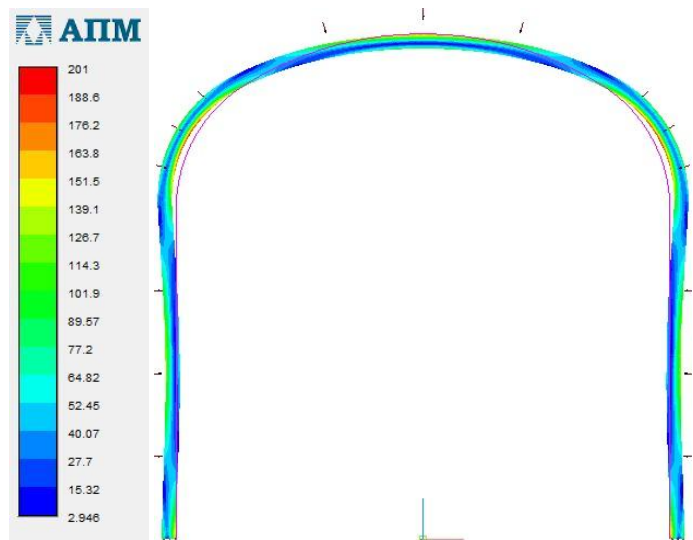


Рисунок 2 - Поля напружень в рамі

В результаті проведених розрахунків отримано розподілення полів напружень в рамі кріплення, які представлені на рис. 2. З рис. 2 видно, що найбільші напруження (табл. 2) виникають в місцях затиснення стійок рами в ґрунті та в зводі, що свідчить про суттєві згинальні моменти, які виникають в цих місцях.

Таблиця 2 - Результати статичного розрахунку

Найменування	Тип	Мінімальне значення
Еквівалентне напруження по Мізесу	SVM [МПа]	2.946233

Інерційні характеристики прийнятої моделі приведені в таблиці 3.

Для подальших досліджень були прийняті моделі аркового металевого кріплення зі ступенем корозії 10%, 20%, 30% та 40%.

За результатами досліджень побудовано графіки залежності величини напружень від ступеня корозії та від терміну експлуатації кріплення, які зображено відповідно на рис. 3 та рис. 4.

Таблиця 3 - Інерційні характеристики моделі

Найменування	Значення
Маса моделі [кг]	230.450309
Центр ваги моделі [м]	(0.001455 ; 0.000006 ; 2.401737)
Моменти інерції моделі відносно центра мас [кг·м ²]	(640.446302 ; 0.457595 ; 1688.979954)
Реактивний момент відносно центра мас [Н·м]	(-1.132794 ; 288.87407 ; -0.000102)
Сумарна реакція опор [Н]	(0.000001 ; -0 ; 198599.580928)
Абсолютне значення реакції [Н]	198599.580928
Абсолютне значення моменту [Н·м]	288.876291



Рисунок 3 - Графік залежності росту напружень в рамі відносно ступеня корозії



Рисунок 4 - Графік залежності росту напружень в рамі відносно терміну експлуатації

За результатами досліджень і їх графічною візуалізацією можна зробити висновок, що при зменшенні площі перерізу профілю СВП-27 до 40 % рама буде працювати в нормальному стані, на відміну від зменшення профілю СВП-22, а при зменшенні площі перерізу на 55% - профіль втратить здатність приймати дане навантаження і з'являться суттєві переміщення і деформації. Несуча здатність профілю зменшиться з 350 до 157,5 кН. Якщо при повному перерізі профілю СВП-22 максимальне переміщення становило 11,3 мм то максимальне значення переміщення в профілі СВП-27-7,82 мм. При зменшенні його на 40%-12,4 мм, що свідчить про те, що рама з профілю СВП-27, при корозії в розмірі 40 % і даному навантаженні, не втратить своїх міцнісних характеристик.

Якщо прийняти інтенсивність впливу корозії в розмірі 5 % на рік, то за 11 років профіль СВП-27 втратить свої міцнісні характеристики.

Таким чином, з вище приведених графіків, видно, що при однаковому навантаженні та величині впливу корозії рама з профілю СВП-22 збереже свої міцнісні характеристики впродовж 6-7 років, а рама з профілю СВП-27- 10-11 років.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Каретников, В.Н. Рациональный профиль элементов металлической крепи / В.Н. Каретников, В.Б. Клейменов // Проектирование и строительство угольных предприятий. – 1971. – № 8 (151). – С. 19.
2. Залесский, К.Е. Рациональные профили металлической шахтной крепи / К.Е.Залесский, В.Б. Клейменов // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2008. - №8. - С. 317-326.
3. Попов, В.Л. Расчет крепи подготовительных выработок на ЭВМ / В.Л.Попов, В.Н.Каретников, В.М. Еганов. - М.: Недра, 1978. - 230 с.
4. Каретников, В.Н. Определение секториальных характеристик новых шахтных профилей / В.Н. Каретников, А.С. Чижик // Механика подземных сооружений. - Тула: ТулГУ, 1995. - С. 51-60.
5. Несущая способность профилей и технико-экономическая эффективность их применения при креплении штреков. Пер. с нем. - М.: ЦИТИ угольной пром-сти, 1958. - 49 с.
6. Малиованов, Ц.П. Механизация работ при проведении подготовительных выработок на шахтах ФРГ. Обзор / Ц.П. Малиованов, Н.А.Белан, П.С. Тихонюк. - М.: ЦНИЭИуголь, 1982. - 29 с.
7. Зигель, Ф.С. Новые шахтные специальные профили для крепей горных выработок / Ф.С. Зигель, В.Ф. Компанец, А.А. Сытник // Шахтное стр-во, 1988. -№ 10.-С. 15-17.
8. Обоснование видов крепи горных выработок по выявленным закономерностям формирования тектонических структур / Е.Л. Сосновская, В.Е. Боликов, В.А. Вицинский [и др.]// Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – Вып. № 5. – С. 15-21.
9. Сыркин, П.С. Шахтное и подземное строительство. Технология строительства горизонтальных и наклонных выработок: Учеб. пособие / П.С. Сыркин, И.А. Мартыненко, М.С. Данилкин. - Новочеркасск: ЮРГТУ, 2002. - 403 с.
10. Рамные крепи горных выработок (обзорная информация и справочные материалы) / А.А. Сытник, Ф.С. Зигель, В.Ф. Компанец [и др.]; Отв. за вып. Таранюк Г.В. - Донецк: ДонУГИ, 1992.
11. Усаченко, Б.М. Геомеханика охраны выработок в слабометаморфизованных породах / Б.М. Усаченко, В.П. Чередниченко, И.Е. Головчанский; Отв. ред. Зорин А.Н. – Киев: Наук. думка, 1990. – 144 с.
12. Расчет параметров рамно-анкерной крепи выемочных выработок / В.И. Бондаренко, И.А. Ковалевская, А.В. Вивчаренко [и др.] // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. — Днепропетровск: ИГТМ НАНУ, 2014. — Вып. 119. – С. 205-215.

REFERENCES

1. Karetnikov, V.N. and Kleimenov, V.B. (1971), "Rational profile elements of metal bolting", *Proektirovanie i stroitelstvo ugolnykh predpriyatij*, no. 8 (151), p. 19.

2. Zaleskiy, K.E. and Kleimenov, V.B. (2008), "Rational profiles metal mining support", Gornyy informatsionno – analiticheskiy bulletin [Mining informational and analytical bulletin], no.8, pp. 317-326.
3. Popov, V.L., Karetnikov, H.V. and Eganov, V.M. (1978), Raschet krepі podgotovitelnykh vyrabotok na EVM [Calculation of support of development workings on a computer], Nedra, Moscow, USSR.
4. Karetnikov, V.N. Chizhik A.C. (1995), "Determination sectorial characteristics of new mine profiles", *Mechanika podzemnykh sooruzheniy*, pp. 51-60.
5. Nesyushchaya sposobnost profiley i tehniko-ekonomicheskaya effektivnost ikh primeneniya pri krepnenii shtrekov [The bearing capacity of the profiles and technical and economic efficiency of their use in mining drifts] (1958), Trans. with it, TSITI ugolnoy promyshlennosti, Moscow, USSR.
6. Maliovanov, Ts.P., Belan, N.A. and Tikhonyuk, P.S. (1982), Mekhanizatsiya rabot pri provedenii podgotovitelnykh vyrabotok na shakhtakh FRG. Obzor [Mechanization of work during preparing workings in the Germany mines. Overview]. TsNIEIugol, Moscow, USSR.
7. Zigel, F.S., Kompanets, V.F. and Sytnik, A.A. (1988), "New mine special profiles for mining supports", *Shakhtnoe stroitelstvo*, no. 10, pp. 15-17.
8. Sosnovskaya, E.L., Bolik, V.E., Vitsinsky, V.A., Sosnovskiy, L.I., Pavlov, A.M. and Rubtsov, L.G. (2009), "Justification types of mine support for identification of patterns of formation of tectonic structures", Gornyy informatsionno – analiticheskiy bulletin [Mining informational and analytical bulletin], no.5, pp. 15-21.
9. Syrkin, P.S., Martynenko, I.A. and Danilkin, M.S. (2002), *Shakhtnoe i podzemnoe stroitelstvo. Tekhnologiya stroitelstva gorizontalnykh i naklonnykh vyrabotok* [Mine and underground construction. Construction technology horizontal and inclined workings], YuRHTU, Novochoerkask, Russia.
10. Sytnik, A.A., Zigel, F.S., Kompanets, V.F. and Polyakovskiy, B. C. (1992), *Ramnye krepі gornnykh vyrabotok* [Frame mine support. (overview and reference materials)], in Taranyuk, G.V. (ed.), DonYuGI, Donetsk, Ukraine.
11. Usachenko, B.M., Cherednichenko, V.P. and Golovchanskiy, J.E. (1990), *Geomekhanika okhrany vyrabotok v slabometamorfizirovannykh porodakh* [Geomechanics protection workings in slightly metamorphosed rocks], in Zorin A.N. (ed.), Naukova Dumka, Kiev, Ukraine.
12. Bondarenko, V.I., Kovalevskaya, I.A., Vivcharenko, A.V. Svistunov, R.N. and Malyhin, A.V. (2014), "Dimensioning frame and roof bolting excavation workings", *Geotekhnicheskaya Mekhanika* [Geo-Technical Mechanics], no. 119, pp. 205-215.

Про авторів

Хворост Василь Валерійович, кандидат технічних наук, доцент кафедри будівельних геотехнологій, Державний вищий навчальний заклад «Криворізький національний університет» (Державний ВНЗ «КНУ»), Кривий Ріг, Україна, vasya_hvorost@mail.ru.

Бровко Дмитро Вікторович, кандидат технічних наук, доцент кафедри будівельних геотехнологій, Державний вищий навчальний заклад «Криворізький національний університет» (Державний ВНЗ «КНУ»), Кривий Ріг, Україна, dbymer@mail.ru.

About the authors

Khvorost Vasily Valeryevych, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Associate Professor of building Geotechnology, State Higher Educational Institution "Kryvyi Rih National University" (State HEI «KNU»), Kryvyi Rih, Ukraine, vasya_hvorost@mail.ru.

Brovko Dmitriy Viktorovich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Associate Professor of building Geotechnology, State Higher Educational Institution "Kryvyi Rih National University" (State HEI «KNU»), Kryvyi Rih, Ukraine, dbymer@mail.ru.

Аннотация. Во время исследований рассматривались проблемы изменения прочностных характеристик арочного металлического крепления в условиях длительной эксплуатации в агрессивной шахтной среде.

Эффективность использования металла для крепления выработок существенно снижается из-за его коррозионных свойств. Агрессивные шахтные и подземные воды, влажно насыщенную среду, в котором находится крепление, наличие блуждающих токов, а также интенсивный обмен воздуха в выработках способствуют возникновению окислительных процессов

в металле. Результатом этого является быстрый, в течение 7 - 10 лет, выход металлической крепи из строя. С помощью программно-вычислительного комплекса была построена трехмерная модель для исследований арочного металлического шахтной крепи. Данные, которые использовались во время исследований, соответствуют горно-геологическим условиям Криворожского бассейна.

Исследования показали, что напряжения в раме находятся в прямопропорциональной зависимости от величины коррозии и срока эксплуатации. Построенные графические зависимости, по результатам исследований, позволяют качественно определить оптимальный профиль крепи для установленных требований.

Ключевые слова: шахтная крепь, напряжение, несущая способность.

Abstract. During the studies, changes of the strength characteristics of the steel arch supports were considered in terms of their long-term operation in aggressive environment in the mine.

Efficiency of the steel used for supporting the roadways is significantly reduced because of the corrosive properties. Aggressive mine and underground water, water-saturated environment, presence of stray currents and intensive ventilation in the tunnels contribute to occurrence of oxidation processes in the steel. The result is a fast, for 7 - 10 years, failure of the steel supports. With the help of the software and computer complex, a three-dimensional model was built for studying steel arch supports in the mines. The data used in the study were correlated with geological conditions of the Kryvyi-Rih ore field.

The findings have shown that stresses in the arch are directly proportional to the rate of corrosion and operation life of the supports. Basing on the study results, the dependence diagrams were built which have made possible to choose an optimal profile for the supports according to the specified requirements.

Key-words: roadway support, stress, bearing capacity.

Статья поступила в редакцию 10.09.2015

Рекомендовано к печати д-ром техн. наук А.П. Круковским