

УДК 622.28.044

Сахно С.В. ст. викл. каф. ГРЗКК, Яковенко О.С., Останко О.Е. студ. гр. РКК-17м,
Кононенко Д.А. студ. гр. УГП-17м

Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет», м. Покровськ, Україна

ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ РОБІТ У ВУГІЛЬНІЙ ГАЛУЗІ ЗА РАХУНОК УДОСКОНАЛЕННЯ РОБОТИ АНКЕРНОЇ СИСТЕМИ

Анкерне кріплення широко використовується у всьому світі для забезпечення стійкості гірничих виробок [1-4]. Щорічні обсяги встановлення анкерів перевищують 500 млн. штук, при цьому лише в США і Австралії встановлюється по 100 млн. анкерів щороку. Якщо врахувати, що рівень травматизму в гірничій галузі цих країн найнижчий в світі, а рівень травм по фактору «вивали порід і вугілля» більше ніж в 2 рази менший, ніж в інших країнах, очевидно, що анкерне кріплення позитивно впливає на безпечність робіт.

Сьогодні виготовляються і використовуються анкерні болти трьох типів: з закріпленням замками з механічним розширенням, хімічними ампулами за рахунок адгезійного ефекту і фрикційні анкери.

Болти першої групи фіксуються у свердловині у двох «точках» – у нижній частині шпура та в частині її якоря. Якість закріплення такого болта та його несучої здатності визначається надійністю фіксації замка. За даними Li, Stjern та Myrvang [5] несуча здатність таких болтів досягає 160 кН з осьовими деформаціями 55 мм для болтів діаметром 20 мм. Основним недоліком цієї групи болтів є його складність конструкції та монтажу.

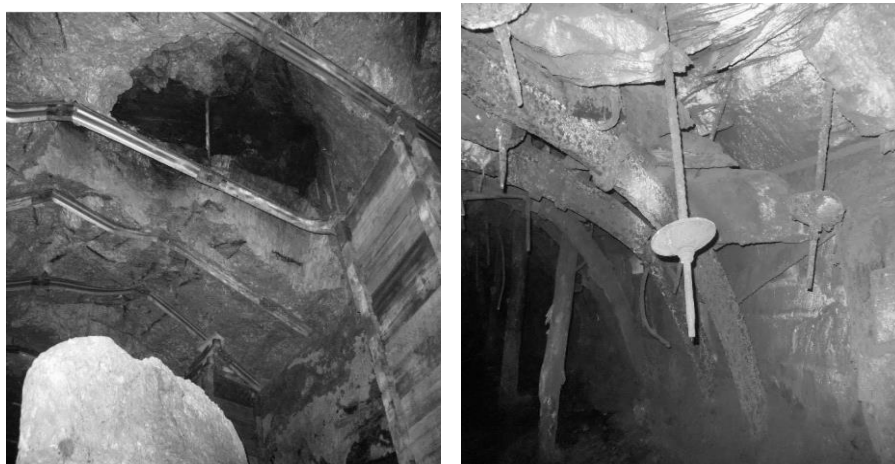
Болти другої групи встановлюються зі зчепленням по всій довжині з використанням смол, цементів та інших зв'язуючих речовин. За даними Стілборга для болта 20 мм, навантаження досягає 170 кН та деформації 20 мм, відповідно до тестів Стернера 210 кН та 40 мм відповідно [5]. Болти зі сталеві арматури, закріплені по всій довжині, є найбільш широко використовуваними в усьому світі завдяки своїм перевагам: простоті, надійності, швидкості монтажу. Недоліком цієї групи болтів є затримка у завантаженні. Лабораторні випробування [1] вказують, що після деформації 20–30 мм на базі 150 мм такі болти руйнуються. Це пов'язано з тим, що хімічно закріплений болт не здатний деформуватися вздовж всієї його довжини, що призводить до його перевантаження у вузькій області розшарування та руйнування.

Фрикційні болти закріплені силами тертя між стінками шпура та болтом. Це дозволяє витримувати великі деформації з постійним опором, але вони мають набагато нижчу несучу здатність у порівнянні з раніше згаданими. Відповідно до випробувань проведених Стілборгом та Стернем для болтів Split Set несуча здатність становить близько 50 кН з деформаціями більше 120 мм, а для болту

типу Swellex відповідно до випробувань, максимальна несуча здатність досягає 121 кН з деформаціями 26 мм і після зсуву 180 мм – 63 кН [5].

Найбільш поширеними є анкерні системи, в яких болти кріпляться хімічно за допомогою хімічних ампул. Науково-дослідні роботи з вивчення стійкості гірських виробок, закріплених за допомогою цього типу болтів, в основному не враховують впливу адгезії зв'язуючих сумішей з болтом та гірською масою при навантаженні.

Таким чином, передбачається, що болт надійно закріплений у шпурі і забезпечує жорсткий зв'язок з породою. Проте вивчення зон вивалів в гірських виробках, закріплених за допомогою анкерних болтів, доводить, що майже завжди, навіть при великих вивалах порід, болти залишаються без суттєвих пошкоджень (рис. 1). Це означає, що анкер, як несучий компонент, все ще здатен працювати, а система «анкер-порода» більше не працює. Таким чином, проблема надійності системи кріплення лежить не стільки в несучому елементі самої болтової системи, скільки у взаємодії з кріпильним елементом, режимом роботи кріпильного елемента та його характеристиками.



*Рис. 1. Вивали порід з покрівлі штреку
а) вугільна шахта шт. Іллінойс USA [6], (б) ш/у Покровское, Україна
(фото авторів)*

Втрата зчеплення анкерного болта, встановленого в масиві з єдиною тріщиною, відбувається за наступним механізмом. Згідно з досвідом та висновками авторів [7], у разі хімічних болтів, встановлених в шаруватому масиві, критичним значенням для несучої здатності системи є площа розриву (тріщини) в межах зони укріплення. Болт, під дією сили натягу, подолав сили зчеплення, що прилягають до тріщини r_z з обох сторін, на рис. 2. Розподіл напружень натягу всередині навантаженого болта можна описати за допомогою формул 1-6.

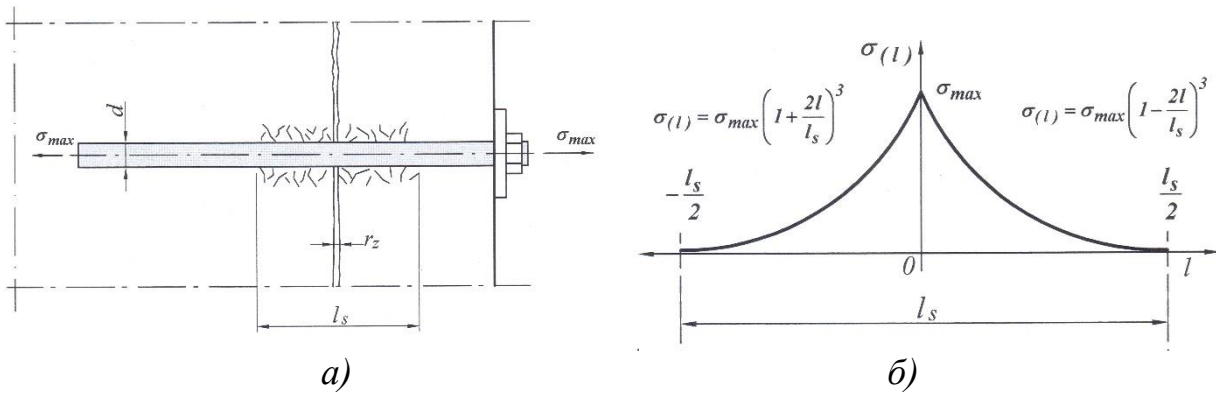


Рис. 2. Модель навантаження анкера при розшируванні порід (а) і відповідний розподіл напружень (б) [6].

В діапазоні від $-l$ до 0 :

$$\sigma(l) = \sigma_{\max} \cdot \left(1 + \frac{2l}{l_s}\right)^3 \quad \text{або} \quad F_{st}(l) = F_{stkr} \left(1 + \frac{2 \cdot l}{l_s}\right)^3 \quad (1)$$

В діапазоні від 0 до $+l$:

$$\sigma(l) = \sigma_{\max} \cdot \left(1 - \frac{2l}{l_s}\right)^3 \quad \text{або} \quad F_{st}(l) = F_{stkr} \left(1 - \frac{2 \cdot l}{l_s}\right)^3 \quad (2)$$

де:

σ_{\max} – максимальні напруження вздовж дії сил,

l – координата вздовж болта;

l_s – довжина болта, що прилягає до тріщини, зв'язок в якій зі скріплюючим складом втрачений.

Окрім напружень розтягування анкера виникають напруження зсуву $\tau(l)$ в системі «породи-скріплююча суміш-анкер», які впливають на остаточну несучу здатність. Формула для критичних напружень зсуву в болті периметром $\tau(l)$ має вигляд:

$$\tau(l) \cdot \varphi \cdot dl = s \cdot d \cdot \sigma(l) \quad (3)$$

після перетворення отримаємо:

$$\tau(l) = \frac{s}{\varphi} \cdot \frac{d\sigma(l)}{dl} \quad (4)$$

Підставимо значення $\sigma(l)$ (1) продиференціюємо по l :

$$\tau(l) = \frac{s}{\varphi} \cdot \left[\frac{6 \cdot \sigma_{\max}}{l_s} \left(1 + \frac{2 \cdot l}{l_s}\right)^2 \right] \quad (5)$$

Для $l=0$ $\tau(l)=\tau_{\max}$ умова прийме вигляд:

$$\tau_{\max} = \pm \frac{6 \cdot s}{\varphi \cdot l_s} \cdot \sigma_{\max} \quad (6)$$

Очевидно, що в системі «порода-скріплююча суміш-анкер» армополімерний анкер має більш високі міцнісні характеристики ніж скріплююча суміш. Внаслідок цього при жорсткому контакті між анкером і закріплювачем буде відбуватись руйнування закріплювача від напружень зсуву. Це призведе до втрати контакту анкера з породою і сприяє розвитку вивалів порід. Таким чином, скріплююча суміш повинна працювати без втрати суцільності в умовах значно більших деформацій ніж анкер і порода, щоб компенсувати виникаючі напруження. Що формує до неї відповідні спеціальні вимоги.

Дослідження впливу властивостей закріплювача на напружено-деформований стан анкерної системи є метою подальших досліджень.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Li C.C., 2012. Performance of D-bolts Under Static Loading, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 45, p. – С. 183–192.
2. Walentek A. & Lubosik Z., 2017. Optymalizacja obudowy wyrobisk przyścianowych zlokalizowanych na głębokości większej niż 1000 m, *Przegląd Górniczy*, 2, p. – С. 76-84.
3. Wen Z.J., 2010. Study of stress features of fully grouted prestressed bolts, *Rock and Soil Mechanics*, 31, p. – С. 177–181.
4. Wen Z.J, Jiang Yu.J., Han Z.H., Yang S. & Wang X., 2016. Bolting Principles of a New Energy-Absorbing Expandable Rock Bolt, *Engineering Transactions*, 64, 1, p. – С. 89–103.
5. Li C.C., Stjern G. & Myrvang A., 2014. A review on the performance of conventional and energy-absorbing rockbolts [Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering](#), 6, p. – С. 315–327.
6. Molinda GM, Oyler DC, Gurgunli H., 2006. Identifying moisture-sensitive roof rocks in coal mines. In: Peng SS, Mark C, Finfinger GL, Tadolini SC, Khair AW, Heasley KA, Luo Y, eds. *Proceedings of the 25th International Conference on Ground Control in Mining*. Morgantown, WV: West Virginia University, p. – С. 57–64.
7. Korzeniowski W.: *Evaluation of State of Underground Gateroads and Rooms Based on Empirical Research Method*. Wydawnictwo ISSN 0867-6631 AGH University of Science and Technology. Monographs. Cracow 2006.