

PACS: 62.20.F, 91.10.Kg

П.С. Дрипан<sup>1</sup>, Я.В. Шажко<sup>2</sup>, Н.И. Василенко<sup>2</sup>

## ОЦЕНКА УСИЛИЙ ЗАПРЕССОВКИ АНКЕРОВ В ГОРНЫЙ МАССИВ

<sup>1</sup>Донецкий национальный технический университет

<sup>2</sup>Институт физики горных процессов, Донецк

Статья поступила в редакцию 11 декабря 2018 года

*Приведены результаты лабораторных испытаний на статическое вдавливание/извлечение модели анкера в модель шпура с использованием метода прессовой посадки. Установлены закономерности, позволяющие определить коэффициент запрессовки по отношению усилия вдавливания к глубине закрепления. Подтверждена возможность использования нового способа закрепления анкеров. Обоснованы геометрические размеры анкера с учетом физико-механических свойств горных пород.*

**Ключевые слова:** анкер, шпур, статическая нагрузка, горная порода, прессовая посадка

Эффективность любых анкерных систем, направленных на повышение устойчивости подземных горных выработок за счет минимизации неупругих деформаций в окружающих породах, зависит от способа закрепления анкеров в шпурах. В условиях Донецкого угольного бассейна получили распространение сталеполимерные анкеры [1–7]. Одним из существенных недостатков, ограничивающих широкое применение разработанной технологии для различных горно-геологических условий, является высокая стоимость полимерных составов, используемых для закрепления анкеров в горном массиве.

В настоящее время в мировой практике для закрепления анкеров в массиве горных пород разработаны и используются различные технические решения, в частности ввинчивание армированных винтов; распор тонкостенных трубчатых С-образных анкеров, стенки которых упруго деформируются в пробуренном шпуре; развальцовывание (расширение) полых анкеров высоким давлением воды или давлением газа при взрывании взрывчатых веществ, приводящем к пластической деформации материала анкеров [8].

Однако используемая за рубежом методология закрепления анкеров, несмотря на целый ряд конструктивных достоинств, не нашла применения в отечественной практике из-за высокой стоимости и сложности изготовления пустотелых анкеров, дорогостоящего оборудования для их установки, возможности потери их устойчивости при закреплении вследствие неоднородного деформирования анкеров по длине скважины.

Одним из перспективных способов бесклеевого закрепления анкеров [9,10] является прессовая посадка цельнометаллических стержней диаметром, превышающим диаметр шпура, пробуренного в горном массиве. Для подтверждения возможности закрепления анкеров предлагаемым способом необходимо определить конструкцию и параметры их установки. Цель работы – определение оптимальных значений диаметров и глубины запрессовки анкера, исключающих пластическую деформацию породы и обеспечивающих максимальное усилие закрепления запрессованного анкера.

При проведении испытаний применяли метод физического моделирования с учетом силового и геометрического подобия [11]. Для исследований отбирали керны породы, полученные при бурении геологоразведочных скважин диаметром 100 mm по песчанику, песчаному и глинистому сланцам. Из кернов изготавливали образцы в форме цилиндра высотой 50 mm и определяли их физико-механические свойства. В каждом образце сверлили отверстие диаметром  $d_m = 3.2$  mm, которое с учетом геометрического масштаба 1:10 соответствовало диаметру шпура в горном массиве  $d_n = 32$  mm. Из стали марки Ст. 5 изготавливали модели анкеров длиной  $L = 100$  mm и диаметрами  $D_m = 3.27, 3.3, 3.33$  mm, что соответствовало диаметрам анкеров в натуральных условиях  $D_n = 32.7, 33, 33.2$  mm.

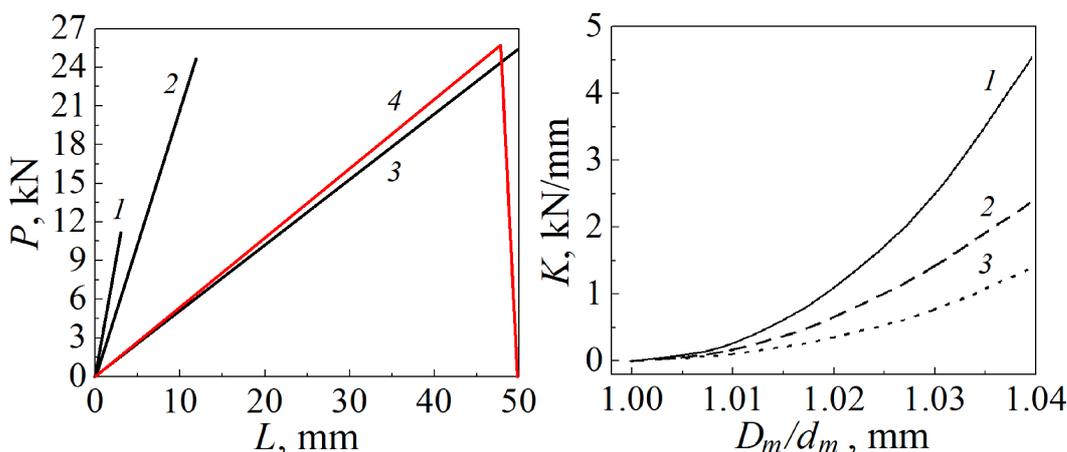
Для каждого значения прочности породы и для каждого соотношения  $D_m/d_m$  было испытано по три образца (всего 27 образцов). Цикл измерений включал два этапа: определение усилий вдавливания модели анкера в породные образцы и извлечения из них.

При запрессовке модели анкера в отверстие породного образца со скоростью  $0.4 \cdot 10^{-3}$  m/s фиксировали глубину и усилие вдавливания. Извлечение производили тем же прессом с использованием специальной обоймы, расположенной на его станине, на которую устанавливали образцы с закрепленными стержнями и производили его извлечение с фиксацией тех же параметров. За показатель эффекта закрепления анкера в реальных горных породах принимали максимальное усилие извлечения металлического стержня.

Все образцы горных пород подвергали вдавливанию. Однако только в образцы песчаника, обладающие максимальными значениями прочности  $\sigma_p$  и модулем упругости  $E$ , удалось вдавить анкеры (рис. 1), остальные образцы разрушились. Анализ представленных закономерностей свидетельствует о возможности закрепления анкера за счет упругого деформирования пришпурового объема горной породы при соотношении  $D_m/d_m = 1.02$  и усилия вдавливания и извлечения, равном 24 kN. При соотношении  $D_m/d_m > 1.02$  усилие вдавливания возрастает на порядок и более.

Установленные закономерности позволяют определять коэффициенты запрессовки  $K$ , аналогичные модулю упругости, по отношению усилия вдавливания  $P$  к глубине погружения анкера  $L$ :  $K = P/L$ . При этом учитывается, что при прочих равных условиях величина силы, необходимая для запрес-

совки анкера [7], прямо пропорциональна модулю упругости горной породы. Зависимости  $K = f(D_m/d_m)$  представлены на рис. 2.



**Рис. 1.** Усилия вдавливания (1, 2, 3) и извлечения (4) анкера для образцов песчаника в зависимости от величины соотношения  $D_m/d_m$ : 1 – 1.04, 2 – 1.03, 3 – 1.02; 4 – 1.02

**Рис. 2.** Зависимости коэффициента запрессовки от геометрических размеров анкера и шпура, а также модуля упругости горных пород: 1 – песчаник:  $\sigma_p = 60$  МПа,  $E = 35.6 \cdot 10^3$  МПа; 2 – песчано-глинистый сланец:  $\sigma_p = 40.8$  МПа,  $E = 18.9 \cdot 10^3$  МПа; 3 – глинистый сланец:  $\sigma_p = 30.3$  МПа,  $E = 10.8 \cdot 10^3$  МПа

Результаты проведенных лабораторных исследований подтвердили техническую возможность использования эффекта прессовой посадки для закрепления анкеров, а также обосновать геометрические размеры анкера и шпура с учетом физико-механических свойств горных пород.

1. КД 12.01.01.201-98. Расположение, охрана и поддержание горных выработок при отработке угольных пластов на шахтах. Методические указания, УкрНИМИ, Донецк (1998).
2. СОУ 10.1.00185790.011:2007. Підготовчі виробки на пологих пластах. Вибір кріплення, способів та засобів охорони, Мінвуглепром України, Київ (2007).
3. СОУ 10.1.05411357.010:2014. Система забезпечення надійного та безпечного функціонування гірничих виробок із анкерним кріпленням. Загальні технічні вимоги, Міненерговугілля України, Київ (2014).
4. Временная методика по выбору параметров сталеполлимерного анкерного крепления подготовительных выработок в качестве основного и усиливающего вида крепи, ДонУГИ, Донецк (2005).
5. Указания по рациональному расположению, охране и поддержанию горных выработок на угольных шахтах СССР, ВНИМИ, Ленинград (1986).
6. СОУ 10.1-00185790-002-2005. Правила технічної експлуатації вугільних шахт, Мінвуглепром України, Київ (2006).
7. Н.Н. Касьян, Ю.А. Петренко, А.О. Новиков, И.Н. Шестопалов и др., Методика определения параметров анкерных породо-армирующих систем для обеспече-

- ния устойчивости горных выработок: СТП (02070826) (26319481), Донецк–Доброполье (2010).
8. М.П. Зборщик, А.П. Клюев, Н.Н. Касьян, П.С. Дрипан, Уголь Украины № 10, 24 (1999).
  9. П.С. Дрипан, Сборник научных трудов ДонГТУ, Алчевск (1999), с. 131.
  10. Пат. 55763 Україна, МПК Е 21 D 20/00. Спосіб встановлення анкера, М.М. Касьян, О.О. Новіков, Ю.А. Петренко, П.С. Дріпан, І.М. Шестопапов, С.Ю. Гладкий, Д.Д. Виговський, № u201006908; Заявл. 04.06.2010; Опубл. 27.12.2010; Бюл. № 24.
  11. Г.Н. Кузнецов, К.А. Ардашев, Н.А. Филатов, Методы и средства решения задач горной геомеханики, Недра, Москва (1987).

*P.S. Dripan, Ya.V. Shagko, N.I. Vasilenko*

### ASSESSMENT OF THE PRESSING FORCE FOR ANCHORS IN THE ROCK MASSIF

The results of laboratory tests for static indentation/removal of an anchor model into a hole model with using the method of press fit are presented. The regularities are found, which allow evaluate the coefficient of adhesion related to the ratio of the pressing force and the depth of anchoring. The possibility of application of a new method of anchoring is confirmed. The anchor size is substantiated with taking into account the physical and mechanical properties of rocks.

**Keywords:** anchor, hole, static load, rock, press fit

**Fig. 1.** Anchor pressing force (1, 2, 3) and pressing-out force (4) for a sand-rock sample vs the ratio  $D_m/d_m$ : 1 – 1.04, 2 – 1.03, 3 – 1.02, 4 – 1.02

**Fig. 2.** Coefficient of adhesion vs the size of the anchor and the hole and elastic characteristics of rocks: 1 – sand rock:  $\sigma_p = 60$  МПа,  $E = 35.6 \cdot 10^3$  МПа; 2 – sandy shale:  $\sigma_p = 40.8$  МПа,  $E = 18.9 \cdot 10^3$  МПа; 3 – shale rock:  $\sigma_p = 30.3$  МПа,  $E = 10.8 \cdot 10^3$  МПа