

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ И РАЗРАБОТКА НОВОЙ КОНСТРУКЦИИ МНОГОСЛОЙНОГО АНКЕРА ФРИКЦИОННОГО ТИПА

ПЕРШИН В. В., ФАДЕЕВ Ю. А., ТРИПУС Т. Е.

Многослойные анкерные конструкции в горном деле по своим механическим характеристикам не уступают аналогичным монолитным изделиям. В статье рассмотрена конструкция анкера в виде двухслойного цилиндра, в котором существует внутреннее напряжение между оболочками. Приводится расчет внутреннего, наружного и радиального напряжений для многослойной конструкции анкера. На основании выполненных сравнительных расчетов для однослойных и многослойных анкеров делается вывод о том, что многослойные трубчатые анкеры с продольной щелью по всей длине обладают определенными преимуществами по сравнению с ранее применяемыми анкерами. Многослойные конструкции анкеров рекомендованы для крепления горных выработок на рудных шахтах.

Ключевые слова: многослойная конструкция; анкер; напряжение.

Известно, что разработка новых и усовершенствование существующих конструкций анкерной крепи проводятся непрерывно. Это объясняется необходимостью увеличения надежности и долговечности конструкций анкеров при возрастающем горном давлении и увеличении объемов крепления горных выработок.

Существует множество различных конструкций трубчатых анкеров [1]. Примером могут служить: ТФА (трубчатый фрикционный анкер) компании «Минова» и самозакрепляющаяся анкерная крепь ООО «УралЭнергоРесурс», которая разработана на основе конструкции анкера фирмы «Атлас Копко». Однако основными недостатками этих конструкций являются малая несущая способность и низкая надежность закрепления анкеров в шпуре. Авторами предложена конструкция многослойного анкера фрикционного типа [2] и приведено обоснование параметров этой конструкции.

Если исходить из основных положений о способности выдерживать большие внешние нагрузки, то необходимо отметить, что в ранее опубликованных работах отмечалось широкое применение многослойных оболочечных конструкций, которые по своим механическим характеристикам не уступали аналогичным монолитным изделиям [3–5]. В качестве примера рассмотрим фрагмент анкера в виде двухслойного цилиндра, в котором существует внутреннее напряжение между оболочками (рис. 1, где a – расстояние от центральной оси до внутренней поверхности внутренней оболочки анкера; b – расстояние от центральной оси до точки

Першин Владимир Викторович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой строительства подземных сооружений, шахт и разработки месторождений полезных ископаемых. 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28, Кузбасский государственный технический университет. E-mail: L01BDV@yandex.ru

Фадеев Юрий Александрович – доктор физико-математических наук, профессор кафедры математики. 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28, Кузбасский государственный технический университет.

Трипус Татьяна Евгеньевна – ассистент кафедры строительства подземных сооружений, шахт и разработки месторождений полезных ископаемых. 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28, Кузбасский государственный технический университет.

соприкосновения внешней поверхности внутренней оболочки анкера с внутренней поверхностью внешней оболочки анкера; c – расстояние от центральной оси до внешней поверхности внешней оболочки анкера; l – высота рассматриваемого участка анкера, равная 1 м).

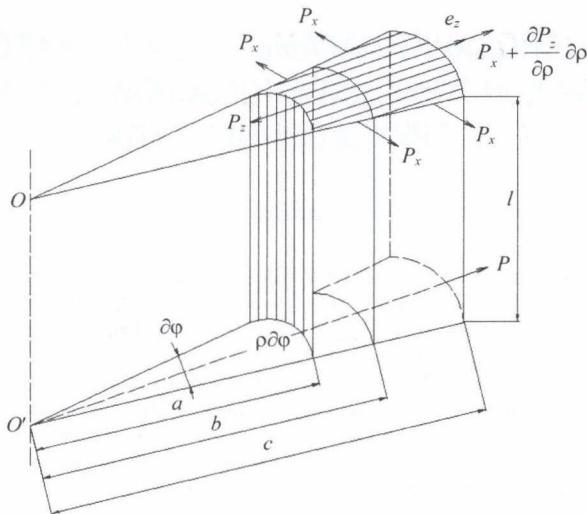


Рис. 1 Фрагмент анкера

Относительное радиальное удлинение e_z по направлению от центра выражается равенством

$$e_z = \frac{\partial u}{\partial \rho}$$

Выразим через смещение u , м, относительную деформацию e_z в направлении, перпендикулярном радиусу:

$$e_z = \frac{2\pi(\rho + u) - 2\pi\rho}{2\pi\rho} = \frac{u}{\rho},$$

где ρ – расстояние от центра цилиндрической поверхности, м.

Используя закон Гука, при $\delta_0 = 0$ получаем

$$e_z = \frac{u}{\rho} = \frac{\delta_r - \mu\delta_\tau}{E},$$

где μ – модуль жесткости (модуль сдвига), Па; E – модуль упругости, Па; δ_r – окружное напряжение, Па; δ_τ – радиальное напряжение, Па.

Подставим в уравнение значения δ_r и δ_τ :

$$\delta_r = -\frac{1}{r_h^2 - r_b^2} \left[P_h r_h^2 \left(1 - \frac{r_b^2}{\rho^2} \right) + P_b r_b^2 \left(\frac{r_h^2}{\rho^2} - 1 \right) \right];$$

$$\delta_\tau = -\frac{1}{r_h^2 - r_b^2} \left[P_h r_h^2 \left(1 + \frac{r_b^2}{\rho^2} \right) + P_b r_b^2 \left(\frac{r_h^2}{\rho^2} + 1 \right) \right],$$

где r_h – наружный радиус, м; r_b – внутренний радиус, м; P_h – наружное давление, Па;

P_b – внутреннее давление, Па.

Получаем

$$u = \frac{1}{\left(r_h^2 - r_b^2\right)} \left[(1-\mu) \left(P_b r_b^2 - P_h r_h^2 \right) \rho + (1+\mu) \left(P_b - P_h \right) \frac{r_b^2 r_h^2}{\rho} \right].$$

Положительные значения u указывают на то, что точки смещаются по радиусу от оси симметрии цилиндра.

Увеличение внутреннего и наружного радиусов цилиндра определим по формуле:

$$u_b = \frac{r_b}{E} \left[P_b \left(\frac{r_h^2 + r_b^2}{r_h^2 - r_b^2} + \mu \right) - 2P_h \frac{r_h^2}{r_h^2 - r_b^2} \right];$$

$$u_h = \frac{r_h}{E} \left[2P_b \frac{r_b^2}{r_h^2 - r_b^2} - P_h \frac{r_h^2 + r_b^2}{r_h^2 - r_b^2} - \mu \right].$$

Напряжения в полученных сечениях цилиндра определяются по формуле

$$\delta_t = \frac{P_b r_b^2 - P_h r_h^2}{r_h^2 - r_b^2}.$$

Наибольшей величины напряжения достигают у точек внутренней поверхности цилиндра (рис. 2):

$$\delta_t = P_b \frac{r_h^2 + r_b^2}{r_h^2 - r_b^2}.$$

Значение δ_t можно уменьшить путем применения составных толстостенных цилиндров в виде многослойной системы со следующими параметрами: $P_b = 98,07$ МПа; $r_1 = 1,5$ см; $r_2 = 1,7$ см; $r_3 = 1,9$ см; $r_4 = 2,1$ см.

Для сплошной цилиндрической конструкции $\delta_t = 302,30$ МПа. Для трехслойной оболочки составной конструкции $\delta_{t3} = 983,12$ МПа; для двухслойной оболочки $\delta_{t2} = 885,32$ МПа; для однослойной оболочки $\delta_{t1} = 787,60$ МПа.

Напряжения под углом ϕ рассчитываются по формуле (рис. 3):

$$\delta_\phi = \delta_{t_{max}} \exp\left(-\left(1 - \phi/\pi\right)\right),$$

где ϕ – угол отсчета оболочки относительно горизонтальной оси.

Как известно, при изготовлении анкеров, как правило, используется инструментальная сталь. В работе [5] показано, что в результате постоянных внешних нагрузок, оказываемых на конструкцию, физические свойства стали претерпевают изменения. В частности, проведенные исследования показали, что в на-

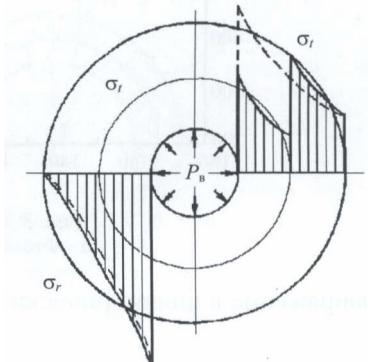


Рис. 2. Эпюра изменения радиального и окружного напряжения для случая действия внутреннего давления с течением времени

груженной стали уменьшается концентрация углерода. Выход углерода на поверхность приводит к уменьшению упругих свойств металла. Согласно [6], радиальное

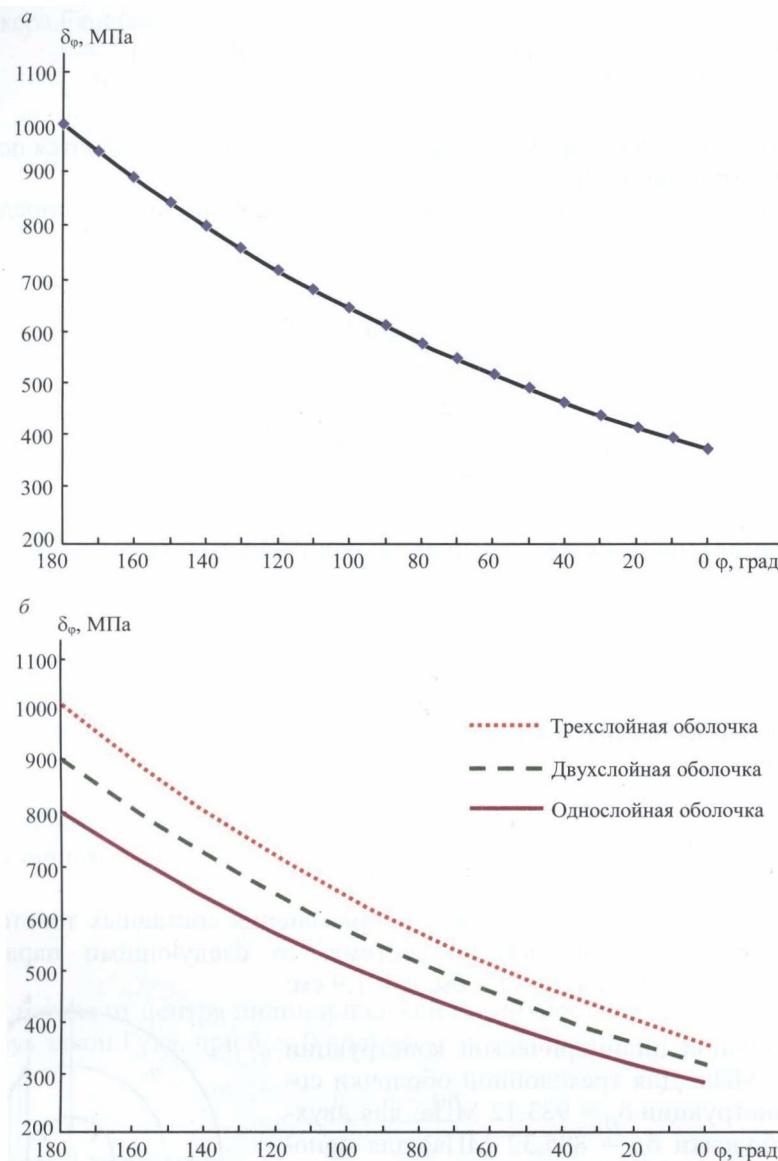


Рис. 3 Зависимость напряжений от угла φ
а – в толстостенной трубе, б – в составном анкере

напряжение в цилиндрических двухслойных оболочках задается выражением

$$P_z = E \left(1 + \left(\frac{kT}{U} \ln \tau_1 \right)^2 \right)^{-1} \left(\frac{\frac{\partial U}{\partial \rho} + \frac{kT}{U} \ln \tau_1}{\frac{\tau}{\rho}} \frac{U}{\rho} \right),$$

где U/ρ – относительное удлинение вдоль оси цилиндра анкера, м; T – абсолютная

температура, К; τ_1 – время выделения частицы на границе зерен, $\tau_1 = \lambda^2 / ((\Delta C)^2 D_0)$; λ – размер области, в которой аккумулируется углерод, м; D_0 – коэффициент диффузии углерода в металле; ΔC – степень пересыщения феррита.

В результате расчетов получена трехмерная эпюра напряжений для многослойной конструкции анкера (рис. 4, время направлено вдоль оси x).

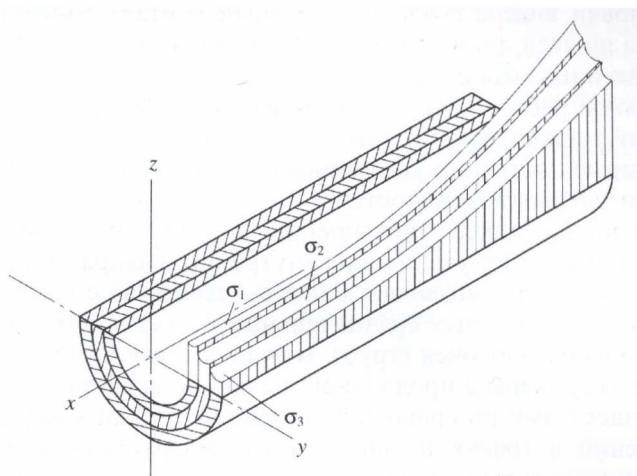


Рис. 4 Трехмерная эпюра напряжений для многослойной конструкции анкера

Таким образом, выполненные расчеты и патентные исследования позволили разработать новую конструкцию трубчатого анкера фрикционного типа (рис. 5), который состоит из двух тонкостенных труб [2].

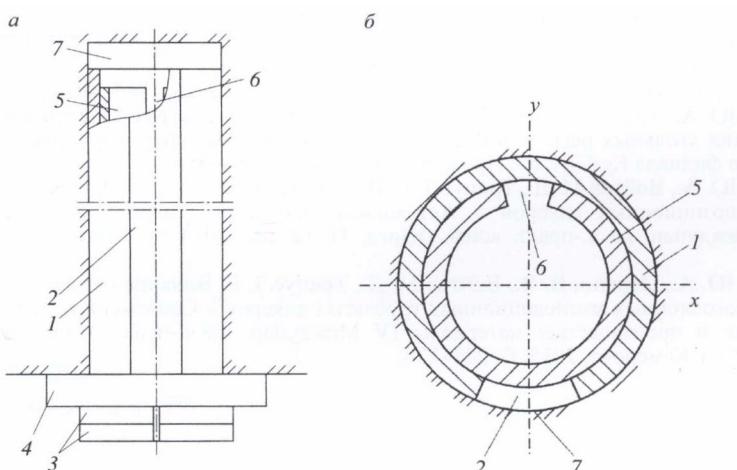


Рис. 5. Конструкция трубчатого анкера фрикционного типа – а; анкер с распорным стержнем в виде сжатого наружного трубчатого стержня – б

1 – наружная труба, 2 – продольная щель, 3 – кольцевой упор, 4 – опорная пластина, 5 – внутренняя труба, 6 – сомкнутая щель, 7 – шпур

Наружная тонкостенная труба с щелью по всей длине, диаметр которой несколько больше диаметра шпура (на 3–7 мм), с небольшим усилием вдавливается

в шпур без разрушения ее стенок до поджатия кольцевым упором опорной плиты к поверхности выработки. Продольная щель трубы незначительно смыкается. Действующие при этом распорные усилия достаточны для удержания в шпуре анкера и элементов крепления выработки.

Конструкция трубчатого анкера фрикционного типа предполагает, что внутрь наружной тонкостенной трубы вбивается подобная неизвлекаемая тонкостенная труба также с продольной щелью по всей длине, диаметр которой (до установки) больше внутреннего диаметра уже установленной тонкостенной трубы.

После установки анкера создается плотный контакт тонкостенных труб со стенками шпура по всей длине анкера, что является гарантией повышения несущей способности и надежности его работы.

При нормальной работе анкера усилия растяжения передаются не только на стенки наружной тонкостенной трубы, но и на внутреннюю трубу анкера за счет сил трения, которые постоянно увеличиваются со временем из-за окисления металлических контактных поверхностей.

Достоинства нового анкера: повышение несущей способности, надежности закрепления в шпуре за счет увеличения внутреннего напряжения анкера, а также малая металлоемкость, что позволяет снизить затраты на его изготовление.

На основании выполненных сравнительных расчетов анкеров, состоящих из одной или нескольких оболочек (труб), можно сделать вывод о том, что многослойные трубчатые анкеры с продольной щелью по всей длине обладают следующими преимуществами по сравнению с однослойными анкерами. При уменьшении напряжений в точках на внутренней поверхности между оболочками (трубами) происходит повышение прочности оболочек (труб) и потому достаточно провести замену однослойного цилиндра на многослойный. Многослойные трубчатые системы позволяют экономить материал без ухудшения прочностных характеристик. Следовательно, трубчатые анкеры фрикционного типа могут быть рекомендованы для крепления горных выработок на рудных шахтах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Войтов М.Д., Копытов А.И., Трипус Т.Е. Анкерные крепи (Конструкции Механизация Области применения): учебное пособие. КузГТУ, 2014. 292 с.
- 2 Трубчатый анкер фрикционного типа: пат 124310 Рос. Федерации № 2012117494/03; заявл. 26.04.12, опубл. 20.01.13, Бюл. № 2
- 3 Тимошенко С.П. Сопротивление материалов. В 2 т. М.: Наука, 1965. 484 с.
- 4 Фадеев Ю.А., Трипус Т.Е. Распределение напряжений в анкерах // Перспективы инновационного развития угольных регионов России: сб. трудов IV Междунар. науч.-практ. конф. Прокопьевск. Изд-во филиала КузГТУ в г. Прокопьевске, 2014. С. 354–356.
5. Фадеев Ю.А., Войтов М.Д., Трипус Т.Е. Влияние старения сталей при эксплуатации многослойных композиционных анкеров // Актуальные проблемы современного машиностроения. сб. трудов Междунар. науч.-практ. конф. (Юрга, 11–12 дек 2014 г.) Томск: Изд-во ТПУ, 2014. С. 184–186
6. Фадеев Ю.А., Першин В.В., Войтов М.Д., Трипус Т.Е. Влияние старения сталей при эксплуатации многослойных композиционных трубчатых анкеров // Современные тенденции и инновации в науке и производстве: материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. (Междуреченск, 8–10 апр 2015 г) Кемерово, 2015. С. 233–234.

Поступила в редакцию 11 сентября 2015 г

SUBSTANTIATION OF PARAMETERS AND DEVELOPMENT OF A NEW CONSTRUCTION OF MULTILAYER ANCHOR OF FRICTIONAL TYPE

Pershin V. V., Fadeev Yu. A., Tripus T. E. – Kuzbass State Technical University, Kemerovo, the Russian Federation
E-mail: L01BDV@yandex.ru

Multilayer anchor constructions at mining engineering don't yield to the similar monolithic articles by their mechanical characteristics. The article examines anchor construction in the shape of two layer cylinder with internal strain between the shells. The article provides calculation of internal, external and radial strain for multilayer anchor construction. On the

basis of comparative calculations for monolayer and multilayer anchors it is concluded that multilayer tubular anchors with longitudinal slot along the whole length possess particular advantages as compared to formerly applied anchors. Multilayer anchor constructions are recommended for anchoring mine workings at ore mines.

Key words: multilayer construction, anchor; strain.

REFERENCES

- 1 Voitov M D., Kopytov A I, Tripus T E. *Ankernye krepki (Konstruktsii Mekhanizatsii Oblas' primenenia) ucheb posobie* [School book “Anchorages (Constructions Mechanization Field of application)”] Kemerovo, KuzGTU Publ . 2014. 292 p
- 2 *Trubchatyi anker friktionsonnogo tipa* [Tubular anchor of frictional type] Patent RF, no 124310, 2013
- 3 Timoshenko S P *Soprotivlenie materialov V 2 t* [Strength of materials In 2 vol] Moscow, Nauka Publ , 1965. 484 p
4. Fadeev Iu A , Tripus T E [Strains distribution at anchors] *Perspektivi innovatsionnogo razvitiia ugol'nykh regionov Rossii sb trudov IV Mezhdunar nauch -prakt konf* [Proc IVth Int Research-to-Pract Conf “The Prospects of Innovative Development of Coal Regions in Russia”] Prokop'evsk, Izd-vo filiala KuzGTU Publ , 2014, pp 354–356 (In Russ)
- 5 Fadeev Iu A , Võitov M D , Tripus T E [The influence of steel aging under the exploitation of multilayer compositional anchors] *Aktual'nye problemy sovremenennogo mashinostroeniia sb trudov Mezhdunar nauch -prakt konf (Yurga, 11–12 dek 2014 g)* [Proc Int Research-to-Pract Conf “Topical Issues of Modern Mechanical Engineering” (Yurga, 11th–12th, December, 2014)] Tomsk, Izd-vo TPU Publ , 2014, pp 184–186 (In Russ)
- 6 Fadeev Iu A , Pershin V V, Voitov M D , Tripus T E [The influence of steel aging under the exploitation of multilayer compositional tubular anchors] *Sovremennye tendentsii i innovatsii v nauke i proizvodstve materialov II Mezhdunar nauch -prakt konf (Mezhdurechensk, 8–10 apr. 2015 g)* [Proc IVth Int Research-to-Pract Conf “Modern Trends and Innovations in Science and Production” (Mezhdurechensk, 8th–10th, April, 2015)] Kemerovo, 2015, pp 233–234 (In Russ)