

Перспективы использования низколегированной стали в крепях горных выработок

Для производства арочных податливых и других видов крепей горных выработок используются специальные взаимозаменяемые шахтные профили (СВП) линейной (на 1 м профиля) массой от 14 до 33 кг из стали Ст5пс или Ст5сп (ГОСТ 380–71) и механическими свойствами по пределу текучести $\sigma_T \geq 280$ МПа, временному сопротивлению $\sigma_B = 500 \dots 640$ МПа (в среднем 510 МПа) и относительному удлинению $\delta_y \geq 19$ %.

На базе механических показателей стали Ст5пс институт ГП «ДонУГИ» разработал и освоил параметрический ряд взаимозаменяемых шахтных спецпрофилей СВП массой 14, 17, 19, 22, 27 и 33 кг для производства крепей горных выработок площадью сечения соответственно 6; 7,9; 9,2; 11,2; 13,8 и 15,5 м². Силовые характеристики профиля (габаритные размеры, статистический момент и момент сопротивления, распределение массы металла по площади сечения профиля) каждого типоразмера арочной крепи определяли исходя из необходимости обеспечения устойчивого состояния работы ее податливой конструкции в разных условиях поддержания выработки при оптимальной плотности установки 1–1,25 рамы на 1 м [1].

Начальная стадия внедрения новых видов арочных крепей параметрического ряда – период ведения горных работ в Донском бассейне на малых и средних глубинах. Под воздействием дав-

ления пород со стороны массива контура выработки крепь проявляет податливость в основном за счет взаимного проскальзывания профилей в нахлестке звеньев конструкции арочной крепи. Силовые возможности арочной крепи определяют, главным образом, усилиями трения между плоскостями стенок соприкасающихся профилей в нахлестке (зависят от жесткости соединенных элементов конструкции) и силами затяжки замкового соединения.

Важный элемент в устойчивой работоспособности узлов податливости крепи – прочностные качества профильной стали. Уровень пластичности стали Ст5пс характеризовался как достаточный для изгиба спецпрофиля в арочную форму крепи в холодном состоянии и восстановления звеньев конструкции арки на правильных машинах (стендах) для ее повторного использования. Один из недостатков стали Ст5пс – низкий предел текучести, определяющий предельную нагрузку на крепь, при которой проявляются пластические деформации в элементах конструкции. При несколько пониженных значениях временного сопротивления появляется необходимость использования в выработках средств усиления конструкции крепи: изготовление из профиля увеличенной металлоемкости; установка двойных верхняков в арке.



И. И. СТОРЧАК,
инж.
(ГП «ДонУГИ»)



А. А. СЫТНИК,
инж.
(ГП «ДонУГИ»)



Б. Т. ТУПИКОВ,
инж.
(ГП «ДонУГИ»)



А. А. ФЕДОРИСТОВА,
инж.
(ГП «ДонУГИ»)

На больших глубинах разработки угольных пластов (700 – 800 м от поверхности и выше) под влиянием возрастающего опорного давления в выработках периодически происходят значительные деформации крепи с изломами верхняка, элементов арки с неизбежными разрушениями (разрывами профиля на концах стоек со снижением несущей способности конструкции). Эти явления наблюдаются в выработках площадью сечения крепи 18,3 м², где используют профиль СВП33 из стали Ст5пс по прочности и жесткости, пригодной только для крепей площадью сечения до 15,5 м².

Для горных выработок значительной площадью сечения, если не использовать крепи из профиля повышенной прочности стали, необходимо применять массивный профиль проката погонной массой не менее 36 кг из стали Ст5пс. Один из способов повышения прочности стали – термообработка. Однако исследования показали, что при этом проявляются трудности, связанные с короблением профиля проката.

Учитывая, что крепь возводится в основном вручную, очевидна актуальность снижения ее металлоемкости за счет повышения прочности стали для спецпрофилей СВП. Важность условия выполнения этой задачи связана с тенденцией к увеличению площади сечения эксплуатируемых горных выработок, особенно при ведении очистных работ в условиях высокогазоносных пластов, разрабатываемых на больших глубинах, а также с применением высокопроизводительных транспортных средств и оборудования (крупногабаритные многосекционные ПС-3,5 и монорельсовые типа ДМКУ поезда, посадочные канатные МДК и напочвенные ДКН дорожки). Разработанные институтом эллипсоидные арочные крепи КМП-А5.1 из профиля СВП33 площадью сечения 19,4; 21,4; 24; 27 м² для выработок, оснащаемых двумя видами высокопроизводительных транспортных средств, серийно не изготавливают из-за недостаточной прочности и устойчивости профиля СВП33 из стали Ст5пс. Кре-

пи значительной податливости и больших типоразмеров можно применять на таких высокопроизводительных предприятиях, как ПАО «Шахтоуправление «Покровское», шахта им. А. Ф. Засядько и других для крепления участковых выработок, проводимых в неустойчивых вмещающих породах.

Таким образом, единственное направление повышения устойчивой работоспособности крепей горных выработок на больших глубинах выемки угольных пластов – разработка и использование в спецпрофилях СВП и КГВ низколегированной стали с более высокими механическими свойствами, чем сталь Ст5пс.

Исходя из условий и научного анализа состояния поддерживаемых горных выработок на больших глубинах разработки новая низколегированная сталь для крепей (арочных и других видов) должна отвечать следующим требованиям:

по нормативам пластичности – не уступать, а возможно, превышать сталь Ст5пс;

по прочности – быть достаточно высокой прочностью, чтобы использовать ее в арочных крепях из профилей серии более легких типоразмеров;

по пределу прочности – иметь более высокий предел прочности по сравнению со сталью Ст5пс при возможном минимальном отношении σ_T / σ_B ;

по содержанию углерода – не превышать 0,18 %, серы – 0,02 %, марганца до 1–1,2 % с возможной или обязательной микродобавкой ванадия, меди.

Кроме того, новая сталь должна иметь благоприятную микроструктуру, т. е. более мелкие зерна и небольшое содержание перлита, обеспечивая при этом высокие механические свойства с равномерными относительными деформациями элементов конструкции спецпрофиля. Повышение стоимости проката профилей из низколегированной стали (по отношению к стали Ст5пс) в основном должно компенсироваться стоимостью крепи за счет уменьшения металлоемкости.

В табл. 1 и 2 приведены сведения по химическому составу и механическим свойствам разработан-

Таблица 1

Марка стали	Углерод	Марганец	Кремний	Сера	Фосфор	Ванадий	Азот	Мышьяк	Хром	Никель	Медь	Молибден	Титан	Алюминий	Ниобий
20Г2АФ	0,18	1,11	0,11	0,016	0,011	0,12	0,015	0,005	0,02	0,02	0,02	0,01	0,005	0,005	0,005
Ст5пс (ГОСТ 380–71)	0,28 – 0,37	0,53 – 0,81	0,05 – 0,17	н.б. 0,05	н.б. 0,04	–	0,008	–	н.б. 0,30	–	–	–	–	–	–

Примечание. н. б. – не более.

ной ПАТ «МК «Азовсталь» и ДонУГИ низколегированной стали марки 20Г2АФ и данные для сравнения с используемой в производстве крепей стали Ст5пс.

Чтобы повысить прочность новой стали не снижая показатель пластичности, состав оптимизировали по углероду, сере, фосфору до уровня соответственно 0,18; 0,016 и 0,011 % при средних значениях элементов в стали Ст5пс 0,32; 0,030 и 0,04 %; улучшено качество по составу микролегирования, включая ванадий на уровне 0,12 %, азот – 0,015 % вместо 0,008 %. Для повышения устойчивости к коррозии стали 20Г2АФ в состав включили в весьма малых объемах медь, никель, титан и другие металлы (см. табл. 1).

Для определения прочностных показателей низколегированной стали и эффективности использования ее взамен стали Ст5пс были испытаны на растяжение 12 стандартных линейных плоских образцов и на поперечный изгиб – также 12 балок их профиля СВП каждая длиной по 1500 мм при нагружении балок при расстоянии между опорами 1200 мм усилием до предельного значения $P_{пр}$. В результате испытаний образцов из стали 20Г2АФ на растяжение получены следующие минимальные значения: предел текучести $\sigma_T = 481$ МПа, временное сопротивление $\sigma_B = 635$ МПа при относительном удлинении $\delta_y = 22,3$ %. Как видно из табл. 2, по средним значениям прочность стали 20Г2АФ превышает показатели стали Ст5пс на 14–30 %.

Теоретически равноценная замена в арочной крепи профиля СВП из стали Ст5пс профилем из низколегированной стали СВП27н.с. возможна только при соблюдении их устойчивой равнопрочности в случае выполнения следующих условий:

$$P_{прСВП27н.с.} \geq P_{прСВП33, Ст5пс.}$$

Испытаниями на предельную нагрузку при поперечном изгибе сравниваемых профилей подтверждена их равнопрочность и возможность замены в арочной крепи тяжелого профиля СВП33 на более легкий – СВП27 из низколегированной стали. Среднее значение предельной нагрузки $P_{пр.ср}$ на балку посередине ее пролета, равного 1200 мм, из профиля СВП33 (сталь Ст5пс) составило 262 кН, а в аналогичных условиях испытаний балки из профиля СВП27 предельная нагрузка достигла 301,7 кН – выше на 13 %. По результатам последующих испытаний подтверждено, что профили СВП14, СВП17 и СВП19 из новой низколегированной стали

Таблица 2

Марка стали	σ_T , МПа	σ_B , МПа	δ_y , %
20Г2АФ	493	651	24,7
Ст5пс (ГОСТ 380–71)	≥ 280	570	≥ 19

20Г2АФ по прочности превышают профили соответственно СВП17, СВП19 и СВП22 из стали Ст5пс по способности к многократному деформированию и восстановлению для повторного использования.

Эффективность применения профиля из низколегированной стали в арочной крепи проверяли на основании результатов испытаний конструкции крепи под нагрузкой на вертикальном стенде в лаборатории проведения и поддержания горных выработок ДонУГИ. Два комплекта натуральных образцов податливой трехзвенной арочной крепи площадью сечения по 13,3 м² из профиля СВП22 (сталь 20Г2АФ) соединяли между собой тремя металлическими стяжками при нахлестках по 400 мм верхняка и стоек, скрепленных замковыми устройствами типа ЗМПК. Пространство со стороны боков крепи до уровня 1,6 – 1,8 м по высоте относительно траверс стенда заполняли с определенным подпором деревянными стойками. Крепь нагружали равномерно с помощью гидросистемы стенда в двух точках по своду арки в $\frac{1}{4}$ пролета по ширине в соответствии с требованиями Методики [2].

В процессе возрастания нагрузки крепь сохраняла достаточно устойчивое состояние в податли-

Таблица 3

ΔH , мм	P , кН	C , мм
<i>Рама № 1</i>		
16	207,0	30
38	246,6	65
120	278,1	70
200	295,9	350
258	193,1	400
289	212,9	540
405	263,3	740
<i>Рама № 2</i>		
20	121,2	10
48	151,1	60
92	174,1	130
170	203,8	240
195	217,7	280
289	227,0	480
295	221,2	510
333	236,7	550

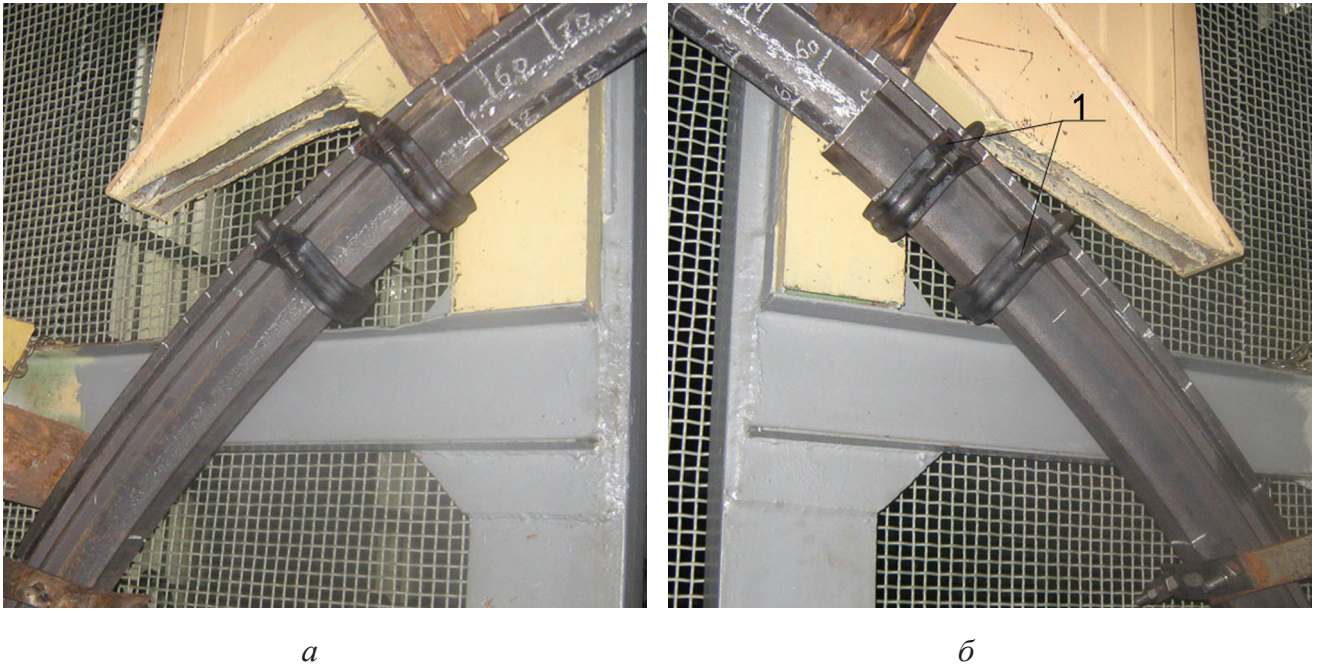


Рис. 1. Расположение замковых соединений на участке нахлестки профилей в момент податливости арочной крепи по вертикали до 300 – 350 мм: *а* – до нагружения; *б* – после нагружения; 1 – замковое соединение типа ЗМПК.

вом режиме без заметных деформаций ее несущих элементов. При достижении предельной допустимой осадки крепи по вертикали до 300 – 350 мм сопротивление на одну арку в среднем достигло соответственно 237 и 244 кН. Процесс возрастания нагрузки на крепь по мере ее податливости по вертикали приведен в табл. 3 (где P – нагрузка на раму испытываемой арочной крепи; ΔH – осадка арочной крепи по вертикали; C – суммарное увеличение нахлестки звеньев конструкции). Расчетная предельная несущая способность одной рамы арочной крепи установлена в пределах 678–683 кН. За период испытаний в четырех узлах податливости крепи наблюдалось устойчивое проскальзывание желобчатых профилей в нахлестках звеньев при сохранении практически неснижаемого усилия затяжки замкового устройства типа ЗМПК (рис. 1).

Оптимально устойчивый режим испытаний крепи под нагрузкой из низколегированной стали соблюдался также за счет использования новой повышенной жесткости конструкции замкового устройства типа ЗМПК, защищенного ДонУГИ авторским свидетельством [3]. Замковое устройство включает: планку трапециевидной формы из стальной (Ст5пс или Ст5сп) полосы проката толщиной 16 мм с полым выпуклым ребром жесткости (см. рис. 1) и скобу из круглого проката диаметром 24 мм. Ребро жесткости имеет овалообразную по-

верхность, центральная часть которой выступает над основанием планки на половину ее толщины и является опорой для затяжных гаек.

Геометрические размеры и конфигурация облегчающей стальной планки замка рассчитаны на плотный контакт прилегания ее к боковым стенкам профиля соединяемых звеньев на участке узла податливости и соблюдения надежного скрепления элементов крепи. При повышенной прочности несущей планки с овалообразным усиливающим ребром жесткости при появлении перекоса и натяжении скоб исключается возможность действия внецентровых сил, а также разрывы скоб по резьбовой нарезке с отрывом гаек на замковых соединениях. На конечный момент осадки испытываемой крепи под нагрузкой нахлестка профилей в узлах их соединения увеличилась до 740–800 мм; значительных перемещений замковых устройств по контуру звеньев конструкции и деформаций не отмечено (см. рис. 1).

Таким образом, по несущей способности и надежности испытываемая арочная податливая крепь площадью сечения $13,3 \text{ м}^2$ из низколегированной стали 20Г2АФ (профиль СВП22) отвечает эксплуатационным требованиям поддержания горных выработок на больших глубинах разработки и по показателям устойчивости и несущей способности не

уступает аналогичному типоразмеру крепи из более тяжелого спецпрофиля СВП27 стали Ст5пс.

Выводы. Переход на производство и применение крепей в горных выработках из низколегированной стали 20Г2АФ позволит:

- повысить устойчивость подготовительных горных выработок в тяжелых горно-геологических условиях;
- уменьшить плотность крепления выработок при поддержании на больших глубинах разработки угольных пластов;
- использовать в крепях вместо профилей из стали Ст5пс более легкие по массе профили из низколегированной стали 20Г2АФ, что даст возможность снизить металлоемкость конструкции в среднем на 19 %, сэкономив от 12 до 22 % металла на 1 м профиля;
- обеспечить внедрение арочных крепей площадью сечения 19,4; 21,4; 24; 27 м² в горных выработках, оснащенных высокопроизводительными транспортными средствами на больших глубинах разработки угольных пластов;
- применить в достаточно больших объемах разработанные новые профили проката КГВ и СПА для производства крепей горных выработок площадью сечения от 22 до 30 м²;
- снизить на 15–20 % трудоемкость воздействия крепи при проведении и перекреплении выработок;

- повысить уровень повторного использования крепей, извлеченных из погашаемых и ремонтируемых выработок;

- увеличить (при использовании крепей из низколегированной стали с повышенной коррозионной устойчивостью) сроки службы выработок, длительно эксплуатируемых в неблагоприятной рудничной атмосфере;

- приостановить процесс разработки типоразмеров шахтных спецпрофилей массой 34 – 40 кг на 1 м проката из стали Ст5пс, предназначенных для крепей горных выработок площадью сечения 24 – 30 м², предусмотрев в этих целях профиль СВП33 из низколегированной стали.

ЛИТЕРАТУРА

1. Типовой проект 401-11-57 (58). Сечения горных выработок, закрепленных арочной крепью из взаимозаменяемого шахтного профиля (крепь АР). – К.: ЦИТП Госстроя СССР, 1983. – 258 с.
2. Методика по проведению стендовых испытаний металлических крепей горных выработок натуральных типоразмеров. – Донецк: ДонУГИ, 2006. – 11 с.
3. А. с. 39984 Україна. Замковий пристрій металевого піддатливого кріплення для підготовчих виробок – ЗМПК / І. І. Сторчак, Б. Т. Тупиков, А. А. Ситник, А. О. Федорістова, В. М. Кірін. – Заявник і патентовласник ДонВУГІ. – № 40272; заявл. 05.07.11; надрук. 23.09.11, Бюл. № 9.

ПО МАТЕРИАЛАМ ЖУРНАЛА «УГОЛЬ УКРАИНЫ» ПРОШЛЫХ ЛЕТ

Год 1973

В журнале № 7 в статье В. В. Гармата, В. Н. Бейзера, Б. П. Преображенского, Г. Ф. Возного, П. Н. Ещенко, Г. Д. Александрова «Об утилизации отходов углеобогащения» описаны свойства пород Донецкого бассейна, сопутствующих пластам каменного угля и удаляемых при обогащении. Рассмотрено использование отходов углеобогащения при производстве кирпича.

Отходы обогащения углей по Украине составили в 1970 г. около 27 млн т. Проблема утилизации отходов имеет важное значение. По состоянию на 1972 г. утилизация отходов осуществляется только на отдельных углеобогатительных фабриках с охватом малого количества отходов по сравнению с их запасами и выработкой.